SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

© NASA - GSKSP - JACOBS/GETTY IMAGES - MESSYASZ/SIPA

THOMAS PESQUET

Un commandant français dans l'ISS

p. 34

Découvrir LES CONFINS DE L'UNIVERS

La plus lointaine galaxie et le berceau des premières étoiles p. 24

MAI 2021 - N° 891 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 € / DOM-AVION 7,90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 880 XPF / ILE MAURICE : 8,60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

L 13418 - 891 - F: 5,30 € - RD

ASTHME

L'efficacité des biothérapies

p. 62

Après le Covid-19

RÉÉDUQUER L'ODORAT

p. 68

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 891 - MAI 2021 - DÉCOUVRIR LES CONFINS DE L'UNIVERS

mgen

GROUPE vyv

MA SANTÉ, C'EST SÉRIEUX.

J'AI CHOISI MGEN

MUTUELLE SANTÉ - PRÉVOYANCE

Perrine Laffont a choisi MGEN pour son action en faveur du sport et de la santé. MGEN une protection santé performante et d'authentiques valeurs de solidarité.

www.antigel.agency - 01974 - mars 2021 - © Hervé Thouroude - Document publicitaire n'ayant pas de valeur contractuelle.

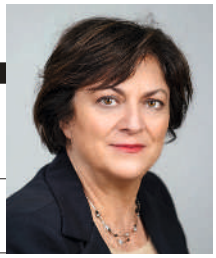
PERRINE LAFFONT

CHAMPIONNE OLYMPIQUE DE SKI DE BOSSES,
3 FOIS VICTORIEUSE DE LA COUPE DU MONDE

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, immatriculée sous le numéro SIREN 775 685 399, MGEN Vie, immatriculée sous le numéro SIREN 441 922 002, MGEN Filia, immatriculée sous le numéro SIREN 440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du Code de la mutualité. MGEN Action sanitaire et sociale, immatriculée sous le numéro SIREN 441 921 913, MGEN Centres de santé, immatriculée sous le numéro SIREN 477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du Code de la mutualité. Siège social : 3 square Max-Hymans -75748 Paris CEDEX 15.

ÉDITORIAL

Dominique Leglu
Directrice éditoriale



BERNARD MARTINEZ

Savoir et pouvoir

Nous, les profanes, aimons les découvertes et les inventions, d'où qu'elles viennent. Que ce soit lors de la traversée inopinée du Système solaire par un objet céleste mystérieux comme Oumuamua. La trouvaille d'un squelette d'hominidé inconnu quelque part sur la planète. La fabrication d'organoïdes, d'un petit hélicoptère observateur de la planète Mars ou d'un nouvel ordinateur. Il nous arrive d'oublier qu'avant les annonces, il y aura eu tout le temps passé à la recherche. Conception du télescope, fouilles, expériences au labo. Patience et longueur de temps.

La science se joue sur le temps long. Les éventuels prix Nobel, Abel, Breakthrough prize ne sont, eux, que la partie émergée de l'iceberg scientifique. Des récompenses qui arrivent souvent bien des années après que les accomplissements majeurs ont été réalisés. Ceux permis par l'intelligence et la persévérance des chercheurs, mais aussi par la robuste organisation qui les aura fait émerger. Cela se mesure généralement en effort financier de R&D par rapport au PIB (2,19 % pour la France, 3,18 % pour l'Allemagne, plus de 4 % pour la Corée du Sud par exemple). Le reflet d'une projection vers le futur, d'un désir de société innovante.

Les scientifiques détestent les frontières. Un soutien majeur à la science, c'est justement ce que revendiquent à nouveau les États-Unis et l'administration Biden, qui comptent rester en tête de la course mondiale. Ce que guigne aussi la Chine de Xi Jinping. À preuve, l'annonce début mars dans le nouveau plan quinquennal d'une augmentation de plus de 10 % par an du budget de recherche fondamentale. Voilà nombre de découvertes et d'inventions en perspective. Oui, mais jusqu'où et avec qui les partager ? Les scientifiques détestent généralement les frontières. En Europe, on aura vu leur volonté farouche de poursuivre les coopérations malgré le Brexit. Voyages et échanges continus d'idées sont un moteur essentiel du progrès des connaissances, répètent-ils. Ces échanges peuvent se révéler vitaux. Ainsi, c'est le partage mondial des informations génétiques dès janvier 2020 qui a permis le séquençage immédiat du coronavirus Sras-CoV-2 et le lancement des vaccins anti-Covid-19.

Coopération et compétition. Seulement voilà, pour une coopération qui conduit à des produits sauveurs de l'humanité, combien de compétitions pour des objectifs bien moins généreux ? Outre le royaume des idées, se développe aussi celui des techniques duales, aux usages aussi bien civils que militaires. Avec leur essor, que ce soit dans le spatial ou le nucléaire, en physique, biologie, chimie, jusqu'où les centres de recherche doivent-ils se montrer vigilants sur la nature de leurs coopérations ? La question du savoir et du pouvoir n'est pas nouvelle mais elle revient au-devant de la scène. Neurosciences, génétique des populations, cellules souches, intelligence artificielle, physique quantique… Aujourd'hui, les avancées sont extraordinaires et nous les admirons. Mais la surveillance pour anticiper leurs usages, demain, ne pourra pas se relâcher. ■

@dominiqueleglu

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

« Les baleines, un précieux capital pour le climat »
(*Sciences et Avenir-La Recherche*, n° 890, avril 2021)

Dans votre article sur les baleines, vous indiquez qu'elles « *jouent un rôle majeur face au changement climatique* » en « *piégeant 33 tonnes de CO_2 tout au long de leur vie* ». Cette affirmation semble disproportionnée. En effet, les émissions mondiales de gaz à effet de serre sont de l'ordre de 35 milliards de tonnes de CO_2 par an (source Giec). Ainsi, pour que les baleines puissent contribuer à atténuer le réchauffement climatique, il serait nécessaire qu'elles soient de l'ordre du milliard d'individus.

Les arbres et les plantes en général forment un réservoir nettement plus important que les baleines. L'un des problèmes vient de la source que vous avez utilisée. Le FMI n'est pas un organisme scientifique de référence concernant le réchauffement climatique ou la physique des océans. **Cyril Geyer**

S. et A. : Les baleines ne représentent évidemment pas la manière la plus efficace de capturer le carbone mais l'idée soulignée par les chercheurs et reprise par les économistes du FMI est que ces cétacés en capurent malgré tout naturellement certaines quantités. Ils représentent donc une manière avantageuse et sans risque de stocker cet élément chimique alors que des procédés de capture totalement artificiels voient le jour depuis ces dernières années. Le coût et les effets à long terme de l'utilisation de ces derniers représentent actuellement un véritable frein. L'équipe du chercheur Andrew Pershing expliquait en 2010 dans un article publié dans la revue *PlosOne* que la reconstitution des populations de baleines bleues de l'hémisphère Sud équivaudrait à préserver 43 000 hectares de forêt tempérée. Et la reconstitution des populations des huit plus grandes espèces de baleines équivaudrait à préserver 110 000 hectares de forêt.

Dangereux l'hydrogène ?

Je suis en train de lire votre numéro concernant l'hydrogène [*S. et A.* n° 889, mars 2021] et je ne suis pas tellement optimiste concernant l'utilisation de ce gaz à grande échelle. Le problème majeur à mon avis est le stockage à très haute pression. Je ne vois vraiment pas comment on pourrait faire rouler des véhicules en ayant des réservoirs pressurisés à 700 bars. Le moindre choc ou accident, et c'est pratiquement la bombe H en miniature, c'est effrayant ! **F. Berbeche**

S. et A. : L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) a réalisé plusieurs études ces dernières années avec des crash-tests, des tirs à balles réelles sur réservoirs, des fuites diverses… Il n'a pas été démontré de vulnérabilités spécifiques. Par ailleurs, l'hydrogène est un gaz plus léger que l'air, en cas de fuite, il s'échappe toujours vers le haut, contrairement au GPL et au gasoil par exemple, qui s'accumulent sous le véhicule. La sécurité du stockage de l'hydrogène n'est donc pas un problème rédhibitoire même s'il faut bien sûr être prudent. Comme avec l'essence.

SEBASTIAN KAHNERT/DPA/AFP

Une voiture Toyota Mirai devant une station de distribution d'hydrogène, à Dresde, en Allemagne.

Pluton ou Neptune ?

Dans l'article « La 9e planète introuvable » [*S. et A.* n° 890 avril 2021], vous parlez d'investigations réalisées à une distance du Soleil 10 fois plus importante que celle de Pluton, or Pluton n'est plus une planète depuis que l'Union astronomique internationale en a décidé ainsi en 2006. Cette déclassification, certains de vos lecteurs peuvent l'ignorer, et le choix de la distance Soleil-Pluton au lieu de Soleil-Neptune me paraît donc peu judicieux. Je ne suis pas sûr que tous les lecteurs aient compris que la 9e planète, si elle existe, est la première située au-delà de l'orbite de Neptune et non au-delà de celle de Pluton.

Hubert de Rincquesen

S. et A. : Il est vrai que Pluton a été déclassée, bien que les Américains restent particulièrement attachés à cette « planète », la seule découverte par un de leurs compatriotes — Clyde Tombaugh, en 1930. C'est néanmoins le premier objet céleste à avoir été détecté au-delà de l'orbite de Neptune — huitième et dernière planète du Système solaire située quant à elle à 4,5 milliards de kilomètres de notre étoile.

À nos abonné(e) s

Un certain nombre d'entre vous nous ont signalé des problèmes de qualité du papier et du collage concernant des exemplaires reçus. Afin que ces incidents ne se reproduisent plus, nous avons choisi de changer d'imprimerie, pour assurer la qualité de chacun de nos magazines. Nous espérons ainsi vous apporter toute la satisfaction nécessaire pour une lecture agréable.

SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 €. 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice des rédactions Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de services enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN, Fabrice NICOT
Chroniqueurs A. Alvarez, Jean-Gabriel Ganascia, Céline Guivarch
Ont participé à ce numéro Pierre BERLOQUIN, Pierre KALDY
Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1re secrétaire) - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital
Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23
Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24
Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15
Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation
Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe LÉONARD - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. - Tél. : 0155355600

Origine du papier : Italie - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC
10-31-1557
pefc-france.org

ADHERENT OJD DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un encart « Sophia Boutique-montre » sur toute la diffusion abonnés.s. Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

ÉDITO

BERNARD MARTINEZ

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

Toujours plus loin

Qu'y a-t-il aux confins de l'Univers ? La question peut paraître étrange quand on admet aujourd'hui l'idée selon laquelle l'Univers est fini. Et pourtant l'idée de confins a bien un sens, car regarder au loin, c'est aussi remonter dans le temps *(p. 24)*. L'horizon ne pourra donc jamais dépasser celui du Big Bang. Ou plutôt la première lumière qui a été émise après le Big Bang, soit 380 000 ans plus tard. Car auparavant, l'Univers n'était que son *(p. 26)*. Pour regarder si loin, les yeux des astronomes ne suffisent pas. Mais ils ont pu compter sur un allié précieux : le télescope spatial Hubble. Voilà plus de trente ans, depuis son orbite à 600 km d'altitude, qu'il abreuve scientifiques et passionnés de fabuleuses images de l'espace. Dont certaines contiennent des trésors, comme cette galaxie GN-z11 dont la distance à la Terre vient d'être établie avec précision : 13,4 milliards d'années-lumière. Jamais galaxie n'avait été vue aussi loin. Et ce n'est pas le seul record qui vient de tomber. En mars, c'est un autre télescope spatial, Chandra, qui a permis de découvrir la signature du trou noir le plus éloigné qu'il ait été donné d'identifier. Situé à 12,7 milliards d'années-lumière, il pourrait en réalité être plus âgé que GN-z11. Ce qui n'est pas sans susciter d'intenses débats : par quel moyen des trous noirs ont-ils pu se former avant les étoiles qui sont censées leur avoir donné naissance ? De nouvelles hypothèses voient le jour. Parmi elles : la fusion d'un type de trous noirs que l'on vient également de détecter pour la première fois ce printemps *(p. 8)* ! Qu'y a-t-il aux confins de l'Univers ? La question est intemporelle mais — on le voit — également brûlante d'actualité. Elle continue sans cesse d'inspirer tant les auteurs de science-fiction *(p. 32)* que les astrophysiciens. Et nous donne l'occasion de vous inviter à explorer l'Univers à des distances que l'esprit humain peine à se représenter. Jugez plutôt : les sondes Voyager, parties il y a un peu plus de quarante ans et qui explorent pour leur part les confins du Système solaire, ne sont, elles, « qu'à » 0,0024 année-lumière environ ! Pourtant, en ce moment même, ces engins nous envoient les premières mesures effectuées depuis l'espace interstellaire *(p. 30)*. Nous faisant déjà réviser la forme de la zone d'influence du Soleil. Jamais l'humain n'a vu aussi loin, jamais il n'est allé aussi loin, et ainsi jamais il n'a eu une vision aussi précise des confins. Au retour de ce voyage pour les découvrir, vous pourrez aussitôt repartir sur l'Everest *(p. 50)* ou vers les premières colonies américaines *(p. 82)*. Même confinés, continuons de nous évader. ■ @mathieu_nowak

> « Jamais l'humain n'a vu aussi loin, jamais il n'est allé aussi loin, jamais il n'a si bien vu les confins »

ASSURANCE HABITATION

VOUS AVEZ UN COUP DE CŒUR

ON LE PROTÈGE DES COUPS DURS.

Votre domicile est inhabitable ?
Notre garantie « Spécial Coup Dur » prend en charge
vos frais de relogement, vos mensualités de crédit immobilier ou vos loyers*.

AGIR CHAQUE JOUR DANS VOTRE INTÉRÊT ET CELUI DE LA SOCIÉTÉ

*Les événements garantis et les conditions figurent au contrat. Le contrat d'assurance Habitation est assuré par PACIFICA, filiale d'assurances dommages de Crédit Agricole Assurances. PACIFICA, S.A. au capital entièrement libéré de 442 524 390 €, entreprise régie par le Code des Assurances. Siège social : 8-10, boulevard de Vaugirard – 75724 Paris Cedex 15. 352 358 865 RCS Paris. N° de TVA : FR 95 352 358 865.

03/2021 – Édité par Crédit Agricole S.A., agréé en tant qu'établissement de crédit – Siège social : 12, place des États-Unis, 92127 Montrouge Cedex – Capital social : 8 750 065 920 € – 784 608 416 RCS Nanterre. Crédit photo : Getty Images. BETC

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 891 / Mai 2021

DOSSIER P. 24

Découvrir les confins de l'Univers

Située à 13,4 milliards d'années-lumière de la Terre, GN-z11 est la galaxie la plus lointaine jamais observée. Un exploit dû au télescope spatial Hubble. Au même moment, pour la première fois, deux sondes spatiales s'aventurent au-delà du Système solaire.

3 **Éditorial** par Dominique Leglu

4 **Courrier**

5 **Édito** par Mathieu Nowak

SCIENCES FONDAMENTALES

8 **ACTUALITÉS** / La famille des trous noirs enfin au complet / Ce stylo dessine des objets en 3D / Une particule élémentaire défie le modèle standard de la physique

34 **Pesquet dans l'ISS : dernière escale avant la Lune**

40 **La course aux échantillons extraterrestres a commencé**

44 **Au cœur du manteau terrestre, les vestiges d'une autre planète**

NATURE

12 **ACTUALITÉS** / Le Groenland a déjà fondu il y a un million d'années / Une algue rouge, espoir pour lutter contre le méthane bovin / Cette mouche a volé un gène de protection à des plantes

46 **Inonder les plaines pour sauver Paris**

50 **Sur l'Everest, le plus haut laboratoire scientifique au monde**

54 **La high-tech au secours du kakapo**

56 **Ce robot mou est une vigie de l'environnement**

58 **Dossier spécial : la voiture électrique de demain**

SANTÉ

16 **ACTUALITÉS** / Pourquoi le froid fait mal aux dents / Un test salivaire pour les commotions cérébrales / Les empreintes digitales sont essentielles au toucher

62 **Un nouveau souffle pour traiter l'asthme sévère**

Thomas Pesquet entame un deuxième séjour de 6 mois dans l'ISS **p. 34**

Un chantier hors normes pour préserver Paris et ses environs des crues de la Seine **p. 46**

Mieux soigner l'asthme sévère, responsable de 1000 morts par an en France **p. 62**

66 **Des embryons artificiels sans gamète ni utérus**

68 **Retrouver l'odorat après le Covid-19**

72 **Dossier spécial : entretenir sa mémoire**

76 **Nutrition : l'eau, ça ne coule pas toujours de source**

HISTOIRE

20 **ACTUALITÉS** / Un masque en or d'une culture chinoise mystérieuse / La plus ancienne utilisation du cuivre / Une « cité perdue » de 3000 ans en Égypte

78 **Napoléon, les sciences en majesté**

82 **À la recherche des premiers colons anglais en Amérique**

85 **Un fossile de dinosaure couvant ses œufs**

RENDEZ-VOUS

86 **La Recherche** Autour d'un livre

88 **Sélection livres**

90 **Expositions**

91 **Le ciel de mai**

92 **Questions de lecteurs**

93 **La Recherche** Solutions des jeux

94 **La Recherche** Dialogue sur le cannibalisme guerrier à la préhistoire

98 **La Recherche** Jeux

La Recherche RETROUVEZ NOS CHRONIQUES

45 Maths : Aurélien Alvarez

56 Climat : Christophe Cassou

97 Éthique : Jean-Gabriel Ganascia

NASA/ESA/ESO/WOLFRAM FREUDLING ET AL. (STECF) - SPACE X - SEINE GRANDS LACS - AMELIE-BENOIST / BSIP

La famille des trous noirs enfin au complet

Un trou noir de masse intermédiaire, 55 000 fois celle du Soleil, a été observé pour la première fois.

L'objet céleste a été découvert grâce à la déviation d'un sursaut gamma (vue d'artiste).

CARL KNOX, OZGRAV

ASTROPHYSIQUE La famille est au complet ! Avec les trous noirs supermassifs et les trous noirs stellaires, l'observation d'un trou noir de masse intermédiaire, 55 000 fois celle du Soleil, conclut un chapitre de la détection de ce type d'astres prévu par les modèles, mais qui échappaient aux détecteurs d'ondes gravitationnelles comme à l'observation directe. Pour les débusquer, les chercheurs de l'université de Melbourne (Australie) ont fouillé les archives du satellite Compton Gamma Ray Observatory, à la retraite depuis vingt ans, qui enregistrait avant cela des sursauts gamma — des flashs d'énergie parcourant le cosmos. En passant au crible 2700 sursauts, ils ont repéré un signal déformé par la présence d'une masse compacte entre l'émission du flash et la Terre. C'était l'œuvre du trou noir intermédiaire découvert, qui jouait le rôle de lentille gravitationnelle en déviant le faisceau d'énergie. Les chercheurs estiment que 46 000 trous noirs intermédiaires se cacheraient dans les environs de la Voie lactée. La traque ne fait donc que commencer. **F. N.**

EN DEUX MOTS

LE VIN DU MOIS De retour sur Terre, les bouteilles de Petrus millésime 2000 qui ont passé plus d'un an dans l'ISS n'ont rien perdu de leur nez, selon une dégustation organisée à Bordeaux. **GAGARINE** La Russie a célébré le 12 avril le 60e anniversaire du tout premier vol habité dans l'espace, réalisé en 1961 par Iouri Gagarine. **ÉCHANTILLONS** La sonde Osiris-Rex, qui a prélevé des échantillons sur l'astéroïde Bénou, a effectué un dernier tour de l'astre le 7 avril avant de repartir pour la Terre avec son précieux chargement *(lire aussi p. 40)*.

59 Le nombre de particules découvertes au Cern

ASTROPHYSIQUE Des expériences conduites grâce au détecteur LHCb du Large Hadron Collider (LHC), le plus grand collisionneur au monde construit sous la frontière franco-suisse près de Genève, ont permis d'identifier quatre nouvelles particules inconnues jusqu'ici. Chacune est composée de 4 quarks (des tétraquarks). Cela porte à 59 le total des particules découvertes par le LHC depuis 2009. **F. N.**

Un algorithme surveille les détenus

FUSION SYSTEMS

La surveillance a pour but de détecter les comportements à risque de suicide.

VIDÉOSURVEILLANCE En Allemagne, l'apprentissage d'un algorithme d'intelligence artificielle destiné à la vidéosurveillance des détenus a commencé en conditions réelles au centre correctionnel de Düsseldorf. La société FusionSystems et l'administration pénitentiaire veulent pouvoir détecter les comportements à risque de suicide, pour mieux les prévenir, tout en évitant une surveillance humaine trop intrusive. 50 à 100 suicides auraient lieu chaque année dans les prisons allemandes. **S. L.**

PRIX ABEL

ABEL PRIZE

László Lovász **Avi Wigderson**

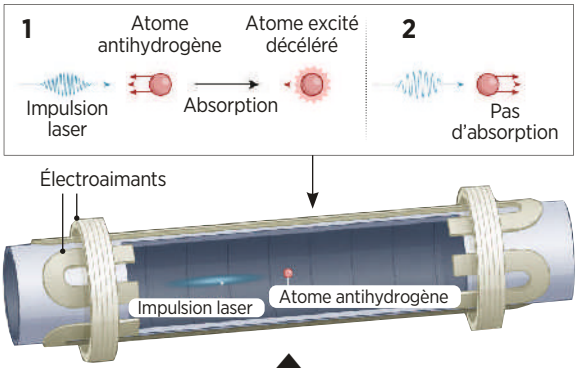
L'informatique théorique au pinacle des mathématiques

DISTINCTION Considéré comme le Nobel des mathématiques, le prix Abel 2021 a été remis par l'Académie des sciences et des lettres de Norvège au Hongrois László Lovász et à l'Israélien Avi Wigderson pour leurs contributions en informatique théorique, notamment dans le domaine de l'optimisation, de la complexité algorithmique et de la théorie des graphes. **Ph. P.**

L'antimatière se soumet au laser

PHYSIQUE En refroidissant des antiparticules près du zéro absolu, la collaboration Alpha au Cern (Genève) a réussi la première manipulation d'antimatière au laser. Une prouesse due à un laser pulsé qui excite les atomes d'anti-hydrogène pour allonger leur durée de vie. Ralentie, l'antiparticule peut être étudiée un bref instant par un autre faisceau laser. **M. B.**

SOURCE : CHRISTOPHE BAKER, SWANSEA UNIVERSITY, ROYAUME-UNI.



BAKER, ET AL.

Une impulsion laser (1) excite l'atome antihydrogène, allongeant sa durée de vie et permettant ainsi son étude par un second laser (2).

5200 tonnes

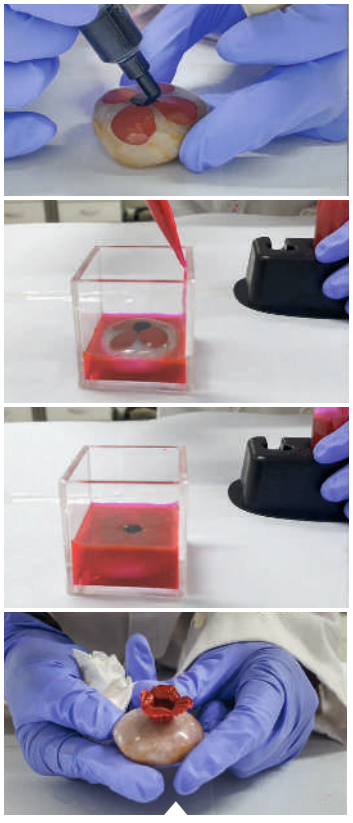
La masse de poussières extraterrestres tombant chaque année sur Terre

GÉOPHYSIQUE Ces poussières proviennent pour 80 % de comètes et le reste d'astéroïdes. Leur masse a été calculée grâce à six expéditions de collecte en Antarctique, menées sur vingt ans, dans une région où la pureté de la neige permet facilement de les identifier. **J. I.**

SOURCE : JULIEN ROJAS, UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY.

Ce stylo dessine des objets en 3D

Une équipe coréenne parvient à créer des motifs en volume à partir de simples dessins au feutre.



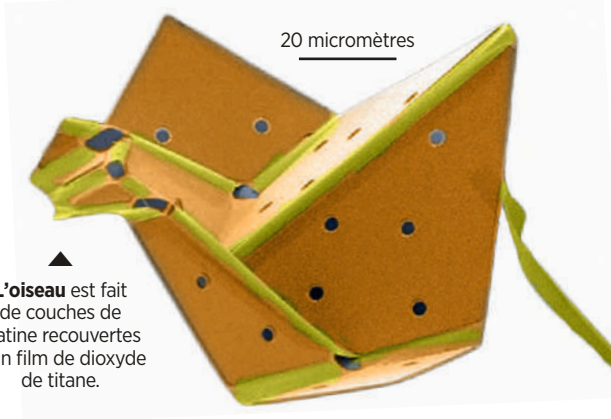
SONG ET AL.

Le dessin est tracé à l'aide d'une encre à base de polymère. Après 3 minutes d'immersion dans une solution aqueuse, il prend la forme d'une fleur en 3D.

MATÉRIAUX En exploitant le principe de la tension superficielle, produite par l'interaction de deux fluides, une équipe coréenne parvient à créer des structures solides en 3D à partir de simples dessins au feutre. L'encre de ce dernier est en fait un polymère, le polybutyral de vinyle. Après avoir été appliquée sur une surface (plaque de verre ou galet), elle est laissée à sécher, perdant en adhésion dans le processus et gagnant en hydrophobie.

Puis le dessin est immergé dans une solution aqueuse qui s'insinue par capillarité entre l'encre et son support. Il commence à se détacher (certaines zones du dessin utilisent une encre aux propriétés différentes comme point d'ancrage au support). La réaction dure trois minutes, le temps que l'encre se rigidifie, puis le liquide monomère est pompé. Le dessin est alors devenu une petite sculpture qui tient en l'état sans avoir à rester immergée. Les chercheurs de l'université nationale de Séoul ont ainsi obtenu des fleurs, un papillon et divers objets arachnéens ou cubiques*. **A. D.**

*sciav.fr/891encre



L'oiseau est fait de couches de platine recouvertes d'un film de dioxyde de titane.

LIU ET AL.

L'IMAGE

Un micro-origami autopliant

MICROROBOTIQUE Ce microscopique « oiseau-origami » se plie et se déplie tout seul sous l'impulsion d'une faible décharge électrique. Il mesure environ 60 micromètres de diamètre, soit 0,06 mm, et est fait de minuscules couches de platine recouvertes d'un film de dioxyde de titane d'une épaisseur d'environ 30 atomes seulement. Pour comparaison, une feuille de papier a une épaisseur d'environ 100 000 atomes. **M. B.**

SOURCE : QINGKUN LIU, UNIVERSITÉ CORNELL, ÉTATS-UNIS.

Le plus faible champ gravitationnel jamais mesuré

PHYSIQUE Des chercheurs ont mesuré le champ gravitationnel produit entre deux sphères en or de 92 milligrammes (soit la masse de quatre grains de riz), espacées de 2 à 5 millimètres seulement. Un record ! Extrêmement faibles, les forces générées sont de l'ordre du dixième de millionième de millionième de newton. Une prouesse expérimentale réalisée grâce à une balance de torsion, en mesurant les mouvements infimes des deux sphères à l'aide de lasers et d'une caméra. **F. D.**

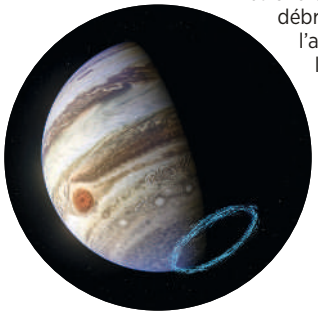
SOURCE : TOBIAS WESTPHAL, INSTITUT D'OPTIQUE ET D'INFORMATION QUANTIQUE, AUTRICHE.

Jupiter est balayée par des vents supersoniques

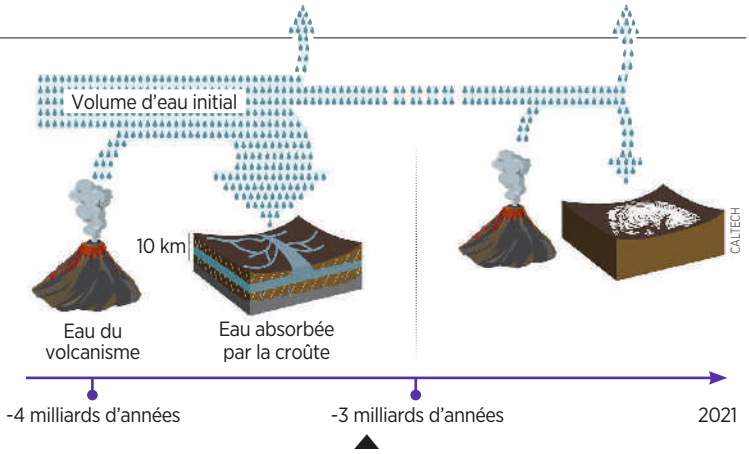
PLANÉTOLOGIE Près du pôle sud de Jupiter, des vents pouvant atteindre 1450 km/h ont été enregistrés, plus rapides que la vitesse du son ! Et deux fois plus véloces que les rafales de 700 km/h déjà observées dans la célèbre tache rouge de la géante gazeuse. Pour tracer ces mouvements dans la stratosphère (50-300 km d'altitude), les chercheurs ont profité des débris largués dans l'atmosphère par la comète Shoemaker-Levy 9, qui avait percuté la planète de façon spectaculaire en 1994. **J. I.**

SOURCE : THIBAULT CAVALIÉ, UNIVERSITÉ DE BORDEAUX.

ESO, NASA



1450 km/h : des vents records ont été enregistrés au pôle sud de la planète (cercle).



Seule une petite part de l'eau de Mars, il y a 4 milliards d'années, se serait échappée ou resterait en surface sous forme de glace. La majorité serait séquestrée dans la croûte.

L'eau martienne serait piégée dans son sous-sol

PLANÉTOLOGIE Entre 30 % et 99 % de l'eau originelle de Mars serait toujours piégée dans son sous-sol selon les calculs de géologues américains, remettant en question la théorie d'un assèchement de la planète par évacuation de l'eau vers l'espace. Il y a 4 milliards d'années, l'équivalent de la moitié de l'océan Atlantique abreuvait en effet la planète Rouge sous forme de mers, de lacs ou de rivières. Celle-ci aurait été en majeure partie absorbée par la croûte martienne il y a 3 milliards d'années. **F. D.**

SOURCE : E. SCHELLER, INSTITUT DE TECHNOLOGIE DE CALIFORNIE, ÉTATS-UNIS.

27 millions

Le nombre de morphologies de galaxies identifiées par *deep learning*

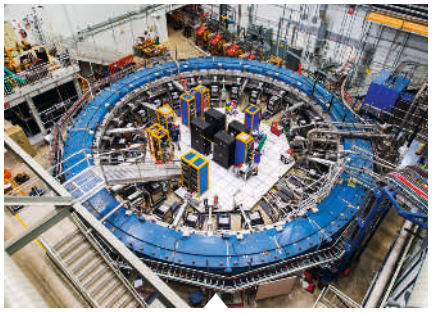
ASTRONOMIE Un algorithme d'apprentissage profond (*deep learning*), appliqué aux millions d'images de galaxies cartographiées par le Dark Energy Survey, a permis à des chercheurs américains de produire la classification la plus fine et la plus complète à ce jour des différentes morphologies de galaxies. **H. J.**

SOURCE : JESUS VEGA-FERRERO, UNIVERSITÉ DE PENNSYLVANIE, ÉTATS-UNIS.

Une particule élémentaire défie le modèle standard de la physique

La détection d'une anomalie dans le comportement des muons pourrait révolutionner le cadre théorique de la physique des particules.

PHYSIQUE L'existence d'une faille dans le modèle standard de la physique des particules se confirme après la publication, le 7 avril, des premiers résultats de l'expérience « Muon g-2 » conduit dans l'accélérateur de particules du Fermilab, aux États-Unis. Depuis 2018, le laboratoire passe au crible des particules cousines des électrons, appelées « muons », qui pourraient être la clé de bien des mystères dans cette discipline. Les nouvelles données, attendues depuis plus de quinze ans par les physiciens du monde entier, dévoilent une anomalie dans la valeur du « moment magnétique » des muons. Un comportement anormal qui suggère que le cadre théorique en vigueur en physique des particules devrait être révisé. Il n'existe plus qu'une chance sur 40 000 pour que l'anomalie soit due à une coïncidence statistique. Mais avant de pouvoir parler de découverte fracassante, comme pour le boson de Higgs en 2012 par exemple, il faudra s'armer de patience et reproduire un grand nombre de fois l'expérience. **M. B.**



REIDAR HAHN, FERMILAB

L'installation du Fermilab, près de Chicago (États-Unis), où est menée l'expérience Muon g-2.

À VOIR SUR LE NET

CHRIS UME

Tom Cruise manipulé par IA

INFORMATIQUE Spécialiste en effets spéciaux, le Belge Chris Ume a fait sensation en diffusant sur la plate-forme TikTok une série de vidéos décalées de Tom Cruise. Il s'agit en fait de *deepfakes* : grâce aux algorithmes d'intelligence artificielle, le visage de la star américaine est plaqué sur celui d'un autre acteur, Miles Fisher. Avec un réalisme inquiétant. **A. D.** sciav.fr/891TomCruise

VOUS ÊTRE **UTILE**

Mettez votre famille à **l'abri** pour moins de 6€/mois*.

2 MOIS DE COTISATIONS OFFERTS POUR TOUTE ADHÉSION DU 01/04 AU 31/05/21 INCLUS

SECUR'FAMILLE 2

Pour vous aider à sécuriser financièrement l'avenir de votre famille

Offre valable une fois par assuré, du 1er avril au 31 mai 2021 inclus, pour toute adhésion avec cotisations mensuelles au contrat SECUR' Famille 2. Les deux premières cotisations ne seront pas prélevées. Le montant des cotisations suivantes sera fixé selon les conditions normales prévues par le contrat. Pour plus d'informations, renseignez-vous auprès de votre conseiller ou sur www.caisse-epargne.fr.

Communication à caractère publicitaire et promotionnel.

*Cotisations pour un assuré de 35 ans et un capital garanti de 30 000 € en formule Optimal (tarif en vigueur au 30/03/2021). Voir conditions dans la notice d'information du contrat.

SECUR' Famille 2 est un contrat d'assurance en cas de décès de BPCE Vie et de BPCE Prévoyance.
Les prestations d'assistance sont assurées par Inter Mutuelles Assistance. Entreprises régies par le Code des assurances.
BPCE - Société anonyme à directoire et conseil de surveillance au capital de 173 613 700 euros. Siège social : 50, avenue Pierre Mendès France 75201 Paris Cedex 13 - RCS Paris n° 493 455 042, intermédiaire d'assurance immatriculé à l'Orias sous le N° 08 045 100. ALTMANN + PACREAU - Crédit Photo : Getty Images.

CAISSE D'EPARGNE

PHOTOS : JOSHUA BROWN - CHRISTET AL.

Les fossiles de plantes (en médaillon) ont été retrouvés à 1400 m de profondeur sous la glace du Groenland.

Le Groenland a déjà fondu il y a un million d'années

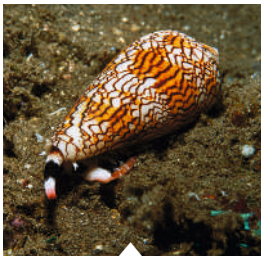
L'analyse d'échantillons du sol a permis la détection de traces de végétaux.

GLACIOLOGIE Des restes de racines, d'écorces, de feuilles, de mousses et de pollens datant de plusieurs centaines de milliers d'années et dans un remarquable état de conservation… Telle est la stupéfiante découverte que des scientifiques européens et américains viennent de réaliser en analysant des échantillons prélevés sous les glaces du Groenland, à 1400 mètres de profondeur. Recueillis dans les années 1960 par l'armée américaine et récemment exhumés par des chercheurs de l'université de Copenhague, au Danemark, ces prélèvements indiquent que la quasi-totalité du Groenland était libre de glace il y a un million d'années. Un épisode interglaciaire qui aurait lui-même duré plusieurs dizaines de milliers d'années et serait survenu à la suite d'un réchauffement de l'ordre de 2 °C par rapport aux températures préindustrielles. Une végétation de type toundra (avec des buissons et des mousses) ou taïga (fait de tourbières et différentes essences d'arbres) avait pu alors se développer avant que la calotte arctique ne se reforme et recouvre le tout. **F. D.**

Le piège sexuel du cône marin impérial

MALACOLOGIE Pour chasser les vers, les cônes marins impériaux émettent des phéromones semblables à celles qui préludent aux rencontres sexuelles de leurs proies. Deux composés chimiques, découverts dans les glandes à venin de ces escargots africains et polynésiens, incitent les vers des deux sexes à sortir de la vase pour s'accoupler. Le cône en profite alors pour les dévorer. **R. M.**

SOURCE : JOSHUA TORRES, UNIVERSITÉ DE L'UTAH, ÉTATS-UNIS.



NATUREPL/ EBPHOTO

Le mollusque attire ses proies, des vers, en émettant leurs phéromones sexuelles.

EN DEUX MOTS

CANNABIS Dans le Colorado (États-Unis), la culture du cannabis, chauffé, ventilé et éclairé en continu, émet plus de gaz à effet de serre (2,1 Mt d'équivalent CO_2 par an) que les mines de charbon (1,8 Mt). **POULPES** Ces céphalopodes connaissent des phases de sommeil paradoxal au cours desquelles ils s'agitent, changent de couleur… et rêvent durant quelques minutes. **MILDIOU** Le mildiou de la vigne a atteint les vignobles de France, en 1878, en voyageant sur des plants sauvages destinés à lutter contre le phylloxéra, selon une étude de l'Inrae.

Ces oiseaux qui oublient leur chant

ÉTHOLOGIE Au bord de l'extinction, les méliphages régents, oiseaux endémiques de l'Australie, peinent à trouver des tuteurs capables de leur enseigner le chant de l'espèce. À tel point que certains jeunes mâles en sont venus à apprendre celui d'autres espèces d'oiseaux. La perte progressive de cette « culture vocale » essentielle à leur reproduction met un peu plus en péril la survie de l'espèce. **A.-S. T.**

SOURCE : ROSS CRATES, UNIVERSITÉ NATIONALE AUSTRALIENNE, AUSTRALIE.

J. WEGENER/NATUREPL/ EBPHOTO

L'apprentissage du chant est indispensable à la reproduction des méliphages régents.

Les eaux de l'océan Arctique retombent sur le nord de l'Europe

OCÉANOGRAPHIE Les importantes chutes de neige de février 2018 sur le nord de l'Europe provenaient d'une évaporation exceptionnelle des eaux de la mer de Barents, au nord de la Norvège. La fonte rapide de la banquise dans cette partie de l'océan Arctique pourrait ainsi entraîner des précipitations hivernales plus fréquentes dans les années à venir. **P. K.**

SOURCE : HANNAH BAILEY, UNIVERSITÉ D'OULU, FINLANDE.

SIPA

La neige de février 2018 en Europe (ici à Biarritz) était due à l'évaporation des eaux de la mer de Barents, en Norvège.

DÉPENSER
RÉPENSER
REPENSER

Pour affronter les défis écologiques, il ne suffit plus de s'adapter.
Changement climatique, effondrement de la biodiversité,
pollutions multiples, raréfaction des ressources :
nos sociétés ont besoin de solutions qui changent radicalement la donne,
comme optimiser la performance des bâtiments pour réduire les pertes énergétiques.

La transformation écologique, c'est notre raison d'être.

Plus d'informations sur veolia.com/transfo-eco

Ressourcer le monde

VEOLIA

Une algue rouge, espoir pour lutter contre le méthane bovin

ENVIRONNEMENT Ajouter des algues rouges au menu des bovins permettrait de réduire leurs émissions de méthane de 82 %, montrent des tests menés sur 21 espèces de ruminants. Un résultat d'importance puisque le bétail émet 37 % du méthane issu des activités humaines. *Asparagopsis taxiformis*, familière des eaux tropicales australiennes, agit en perturbant les enzymes dans l'intestin des animaux. **R. M.**

SOURCE : BREANNA ROQUE, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE, ÉTATS-UNIS.

HRISTOV RESEARCH GROUP/PENN STATE

« Asparagopsis taxiformis » perturbe les enzymes de l'intestin responsables de la production de méthane.

JIXING XIA, ZHAOJIANG GUO

Cette minuscule mouche est capable de pomper la sève de plus de 500 espèces végétales.

Cette mouche a volé un gène de protection à des plantes

Premier exemple connu, ce transfert génétique fonctionnel d'une plante à un insecte permet à ce dernier de ne pas s'intoxiquer.

ENTOMOLOGIE La mouche blanche, ou aleurode, du tabac (*Bemisia tabaci*), s'est approprié un gène de protection des plantes pour les manger sans s'intoxiquer, selon une étude internationale publiée dans la revue *Cell*. C'est le premier exemple connu d'un transfert génétique fonctionnel d'une plante à un insecte. Le gène BtPMaT1 neutralise des composés toxiques produits par la plante pour se défendre contre les herbivores et n'est présent chez aucune autre espèce d'insecte. Il explique la résistance incroyable du ravageur qui pompe la sève de plus de 500 végétaux (melons, tomates, etc.), et transmet de multiples virus provoquant chaque année des milliards d'euros de dégâts. *« Le mécanisme exact par lequel le gène a été transféré de la plante vers l'aleurode il y a des millions d'années reste inconnu »*, reconnaît l'un des découvreurs, Ted Turlings, de l'université de Neuchâtel (Suisse). Mais il aurait pu être transmis à l'insecte par un végétal à l'occasion d'infections virales. **R. M.**

-111 °C La plus basse température dans l'air

CLIMATOLOGIE Ce record de basse température atmosphérique a été enregistré le 29 décembre 2018 au sommet d'un cumulonimbus en pleine tempête tropicale. La mesure de -111 °C, qui vient d'être révélée, a été effectuée par hasard par un satellite américain dans le Pacifique occidental, un peu au sud de l'équateur. **M. B.**

SOURCE : SIMON RICHARD PROUD, UNIVERSITE D'OXFORD, ROYAUME-UNI.

La tueuse de « l'aigle à tête blanche » identifiée

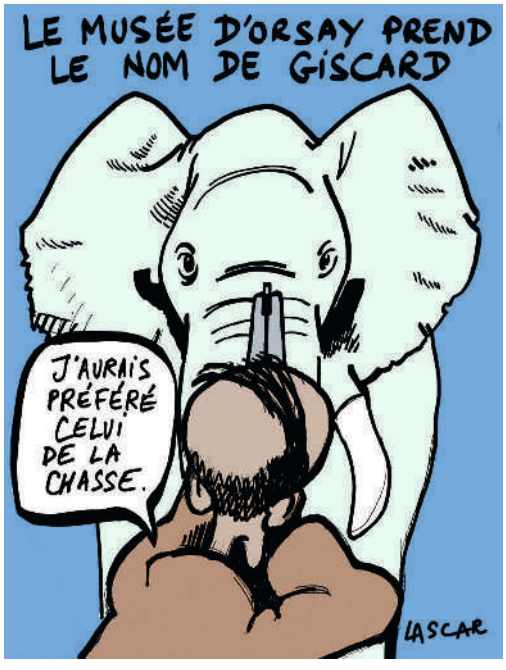
BIOSPHOTO

Le rapace est victime d'une cyanobactérie.

ORNITHOLOGIE Le mystère de la mort de pygargues à tête blanche, rapaces pêcheurs emblématiques des États-Unis, dans plusieurs États du sud-est du pays a été élucidé après une enquête de plus de 25 ans. Le responsable est une toxine totalement inédite produite par une cyanobactérie qui prolifère sur des plantes aquatiques invasives. Elle s'attaque aux neurones de ces oiseaux. **P. K.**

SOURCE : STEFFEN BREINLINGER, INSTITUT DE PHARMACIE DE HALLE, ALLEMAGNE.

L'œil de Lascar



LE NOM DE L'ANCIEN PRÉSIDENT de la République Valéry Giscard d'Estaing sera accolé à celui des musées d'Orsay et de l'Orangerie, à Paris. Amateurs de safaris (50 éléphants tués à son actif), « VGE » avait transformé l'ancienne gare d'Orsay en un musée axé sur le XIXe siècle. **O. L.**

Wi-Fi 6 à tous les étages.

Livebox Up Fibre

29€99/mois

pendant 12 mois
puis 49,99€/mois

Nouveau

1er Répéteur Wifi 6 inclus(1)

Soit pour les nouveaux clients Orange : remises de 15€/mois(2) et remboursement de 5€/mois(3) avec changement d'opérateur. Transformez le wifi de votre Livebox en Wi-Fi 6 avec le Répéteur raccordé à votre box (sur demande). En fonction de la taille de votre logement, ajoutez le(s) répéteur(s) supplémentaire(s) : 89€ chacun. Détail sur orange.fr

Offre avec engagement 12 mois, soumise à conditions du 08/04/2021 au 02/06/2021 inclus, en France métropolitaine, valable sous réserve d'éligibilité et équipements compatibles. Frais de résiliation : 50€. Le répéteur reste la propriété d'Orange et est inclus sur demande sur orange.fr avec frais d'activation de : 10€.

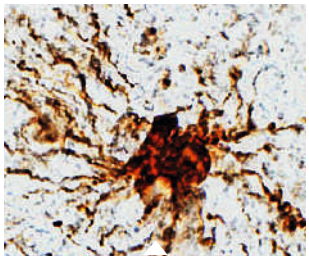
(1) Le Répéteur Wifi 6 permet d'étendre la couverture wifi de votre Livebox en Wi-Fi 6 ou de remplacer le Wi-Fi 5 de la Livebox par du Wi-Fi 6 avec équipement compatible. **(2)** 10€/mois le Bon Plan, 5€/mois la remise La Fibre au prix de l'ADSL. **(3)** Remboursement différé sur facture avec changement d'opérateur après le 08/02/2021. Détail et formulaire sur odr.orange.fr

orange™

Des gènes zombis se réveillent après la mort

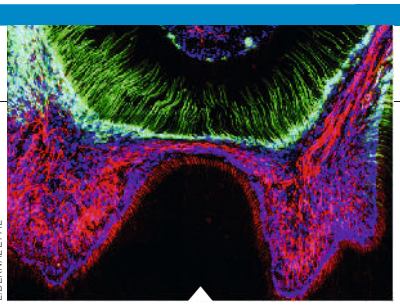
THANATOLOGIE Dans les heures qui suivent le décès, certaines cellules du cerveau sont toujours actives et augmentent même l'activité de plusieurs gènes de façon très importante, selon une nouvelle étude qui confirme de précédentes observations. En mesurant l'activité génétique d'échantillons prélevés lors d'opérations du cerveau, les chercheurs identifient des « gènes zombis » qui connaissent un pic d'activité 12 heures après la mort. **H. J.**

SOURCE : FABIEN DACHET, UNIVERSITÉ DE L'ILLINOIS À CHICAGO, ÉTATS-UNIS.



DR JEFFREY LOEB/UIC

Présents dans les tissus cérébraux, les gènes zombis connaissent un pic d'activité 12 h après la mort.



L. BERNAL ET AL.

Les canaux ioniques (en vert) contiennent des protéines, TRPC5, capteurs de froid, et TRPA1, qui se bloquent quand la température baisse.

Pourquoi le froid fait mal aux dents

Des chercheurs sont parvenus à identifier des capteurs de détection du froid dans les tissus dentaires.

GETTY IMAGES

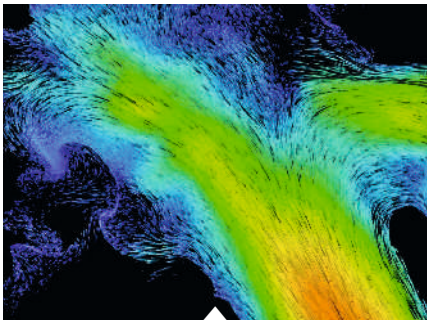
ODONTOLOGIE Une équipe américaine vient enfin de décrypter l'origine des intenses douleurs provoquées par le contact du froid, boisson ou crème glacée, sur les dents. Une sensation accrue quand elles sont cariées. Publiée dans la revue *Science Advances*, l'étude repose sur l'analyse fine, chez le rongeur, des mécanismes moléculaires et cellulaires du système dédié à la détection du froid dans les tissus dentaires. Celui-ci est constitué par les canaux ioniques dans les cellules localisées à proximité de la dentine, le tissu vivant principal de la dent. Les chercheurs sont parvenus à identifier des capteurs de froid, TRPC5 et TRPA1, qui se bloquent quand la température baisse. Ce qui a pour conséquence d'augmenter le passage des ions et donc le signal électrique. De quoi exciter les nerfs présents au niveau des racines qui envoient à leur tour un signal de douleur au cerveau. Des traitements spécifiques inhibant ces capteurs pourraient être développés. En attendant, il y a toujours le clou de girofle. **S. R.-M.**

BRAVO LE LABO

Le sang dans le cerveau observé à la loupe

IMAGERIE Une équipe française est parvenue à cartographier le réseau vasculaire cérébral chez l'humain, à des échelles jamais atteintes jusque-là. Une prouesse réalisée grâce à une technique d'échographie par ultrasons ultrarapides mise au point par le physicien Mickaël Tanter. Les chercheurs ont pu visualiser et analyser la dynamique sanguine dans un anévrisme de 2 millimètres d'épaisseur seulement. **M. G.**

SOURCE : CHARLIE DEMENÉ, UNIVERSITÉ PSL, FRANCE.



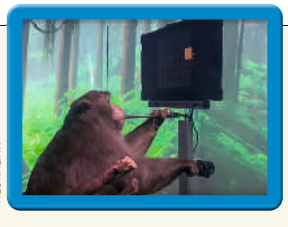
A. DIZEUX/PHYSIQUE POUR LA MÉDECINE PARIS

La circulation du sang dans le cerveau a pu être observée grâce à une technique d'échographie par ultrasons ultrarapides.

Un test salivaire pour les commotions cérébrales

TRAUMATOLOGIE Les commotions cérébrales pourraient désormais être diagnostiquées grâce à un simple test salivaire. Des chercheurs britanniques ont montré sur plus de 150 joueurs de rugby professionnels en Angleterre entre 2017 et 2019 qu'il existe des biomarqueurs caractéristiques d'une lésion cérébrale due à un choc à la tête. **H. J.**

SOURCE : VALENTINA DE PIETRO, UNIVERSITÉ DE BIRMINGHAM, ROYAUME-UNI



NEURALINK

À VOIR SUR LE NET

Grâce un implant cérébral, ce singe joue à Pong

NEUROTECHNOLOGIE Un singe équipé d'un implant cérébral connecté a pu jouer au jeu vidéo Pong en utilisant son cerveau. C'est ce que montre la vidéo publiée par Neuralink, l'entreprise fondée par Elon Musk qui vise à développer des puces permettant d'interfacer le cerveau avec des machines. Deux implants lisent l'activité cérébrale du macaque, Pager, pendant qu'il se concentre sur le jeu. **H. J.**

sciav.fr/891SingePong

ELLE A DIT

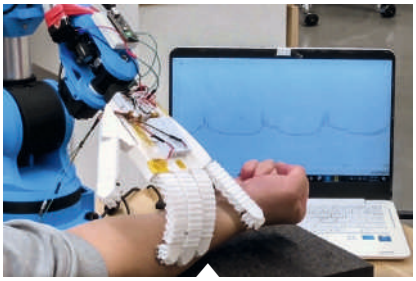
« Nos travaux montrent pour la première fois que le carbone suie dans les particules fines provoque à lui seul un surrisque de 20 % de développer un cancer du poumon »

Bénédicte Jacquemin, chercheuse Inserm à l'université de Rennes, commentant son étude dans *Environnemental Health Perspectives* sur l'impact de ces particules issues de la combustion incomplète du carburant des moteurs thermiques.

Une main robotique pour examiner les patients

TÉLÉMÉDECINE Pour tester la faisabilité d'un « robot-praticien » capable de téléconsulter, des chercheurs développent une main robotique dont les doigts imitent les propriétés de ceux des humains en matière de rigidité et d'articulation. Surtout, des capteurs disposés sur les dernières phalanges ont permis d'enregistrer les signaux électriques dégagés par les muscles en mouvement, soit l'équivalent d'un électromyogramme (EMG). **A. D.**

SOURCE : TAE-HO KIM, UNIVERSITÉ SIMON FRASER, CANADA.



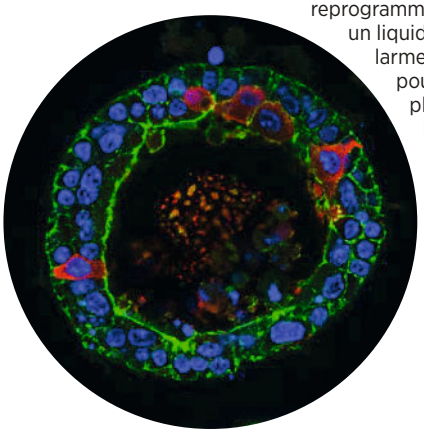
SIMON FRASER UNIVERSITY

Munie de capteurs, la main robotique enregistre les signaux électriques d'un muscle qui bouge.

Un organoïde de glande lacrymale capable de pleurer

BIOTECHNOLOGIES Ce sont les premiers organoïdes de glande lacrymale que des chercheurs sont parvenus à cultiver. Stimulée par différents neurotransmetteurs, la structure faite de cellules souches reprogrammées a même « pleuré » un liquide semblable à nos larmes. Ces organoïdes pourront servir à étudier plus facilement les glandes lacrymales, et à lutter contre les maladies liées à la sécheresse oculaire. **C. L.**

SOURCE : MARIE BANNIER-HÉLAOUËT, UNIVERSITÉ MÉDICALE D'UTRECHT, PAYS-BAS.



YORICK POST-HUBRECHT INSTITUTE

Cultivé à partir de cellules souches issues de glandes lacrymales, l'organoïde a produit un fluide semblable aux larmes.

www.lesproduitsdumois.com

Reflux, sécrétions, irritations altèrent votre qualité de vie,
MUCODISTIM HEMMAGE VOUS SOULAGE !

Raclements persistants dans la gorge, la Lithocétine® et le GABA agissent sur le pH de **l'acidité gastrique** et sur la **réduction du relâchement du sphincter**, permettant ainsi de contribuer à l'élimination des mucosités tout en luttant contre le reflux, l'Inflammation et l'irritation, la quercétine aide à combattre le phénomène allergique. En complément, la Valériane, l'éleuthérocoque, et le magnésium agissent sur le stress et la tension musculaire. Cure de 3 mois minimum. ■ En pharmacie www.audistimpharma.com
/// AUDISTIMPHARMA à votre écoute : 05 56 69 13 84

VITAMINE D POUR VOTRE IMMUNITÉ

Les mini-comprimés **D-immune** associent de la Vitamine D3, la forme de Vitamine D la mieux absorbée par l'organisme, à de l'huile d'Argousier pour maximiser son assimilation.

Un seul mini-comprimé par jour apporte 50 µg de Vitamine D, couvrant 1000% des Valeurs Nutritionnelles de Référence.

D-immune garantit un apport suffisant en Vitamine D au quotidien, essentiel pour **maintenir les défenses immunitaires, favoriser une bonne minéralisation osseuse et préserver une fonction musculaire optimale.**

Faire le plein de Vitamine D n'a jamais été aussi simple !

■ En pharmacie bte 90 mini-cp (3 mois de programme). Sans gélatine - ACL 6276968.
New Nordic au 01 85 12 12 12 (tarif local) - www.vitalco.com

Vertiges, pertes d'équilibre, instabilité ?

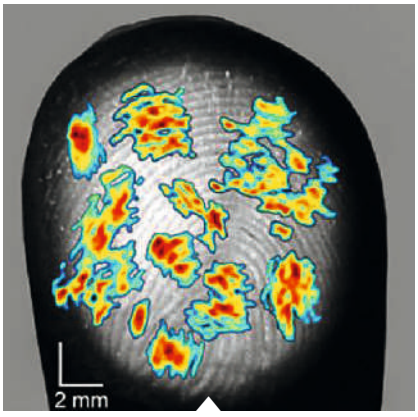
Vos troubles de l'équilibre impactent votre qualité de vie ? Vos troubles de l'équilibre sont dus à des altérations de la micro-circulation et au stress. Grâce à sa composition Unique et Naturelle, **AUDISTIM® ÉQUILIBRE VA VOUS SOULAGER !** L'écorce de pin maritime (EPM 150®) et le Gingembre améliorent la microcirculation, favorisent l'oxygénation cérébrale et contribuent à une bonne santé vasculaire. La Passiflore, l'Aubépine, le magnésium et le zinc diminuent le stress. Cure de 3 mois minimum. ■ En pharmacie www.audistimpharma.com
/// AUDISTIMPHARMA à votre écoute : 05 56 69 13 84

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

Les empreintes digitales sont essentielles au toucher

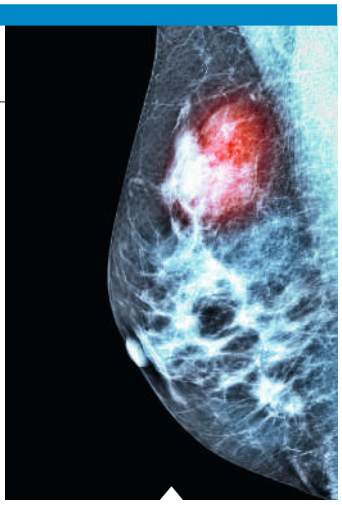
Des chercheurs ont cartographié les zones de sensibilité de chaque neurone sensoriel sur les empreintes digitales.

PERCEPTION Densément innervées par des dizaines de milliers de terminaisons nerveuses sensorielles, les crêtes de chair qui forment nos empreintes digitales sont essentielles à la sensibilité du toucher. C'est ce que montrent des chercheurs de l'université d'Umea (Suède) et de la Western University (Canada) qui ont mesuré chez 12 adultes en bonne santé la sensibilité que confère chacune d'entre elles. Dans l'expérience, un robot faisait passer sur le bout des doigts des 12 volontaires une surface lisse ponctuée de petites bosses de 0,4 mm de haut. Inséré dans l'avant-bras, un capteur mesurait en même temps la réponse nerveuse engendrée par le toucher. L'équipe a ainsi pu cartographier les zones de sensibilité de chaque neurone sensoriel sur les empreintes digitales. D'après ces analyses, les zones de sensibilité ont la même largeur que les crêtes (0,4 mm) et chacune est ancrée sur une crête en particulier. Mais ces zones se chevauchent aussi fortement, ce qui confère au bout de nos doigts une sensibilité importante à la texture, la pression ou encore la vibration. **C. G.**



JAROCKA ET AL.

Les crêtes des empreintes digitales sont reliées aux terminaisons nerveuses du toucher.



PHANIE

Certaines tumeurs du sein (en rouge) sont dues au gène AAMDC.

Découverte d'un gène impliqué dans le cancer du sein

ONCOLOGIE Une équipe australienne vient de découvrir le gène responsable d'un des cancers du sein les plus agressifs. Appelé AAMDC, celui-ci entraîne une tumeur dite hormono-dépendante de mauvais pronostic. Il protège en effet les cellules cancéreuses des traitements hormonaux. Le gène AAMDC étant parfois en cause dans certains cancers de l'ovaire, de la prostate ou du poumon, la découverte pourrait déboucher sur des traitements ciblés. **C. L.**

SOURCE : EMILY GOLDEN, UNIVERSITÉ D'AUSTRALIE-OCCIDENTALE, AUSTRALIE.

170 Le nombre d'hôpitaux testant le cannabis thérapeutique

PRESCRIPTIONS 215 centres de référence dans 170 hôpitaux sont impliqués dans l'expérimentation du cannabis thérapeutique qui a débuté en France. La première prescription a été faite fin mars au CHU de Clermont-Ferrand. Très attendus par des associations de patients, les tests concerneront 3000 personnes pendant deux ans. **H. J.**

Un traitement préventif contre le diabète de type 1

ENDOCRINOLOGIE Un traitement de 14 jours a réduit d'un tiers le risque de déclarer dans les cinq ans suivant un diabète de type 1 chez des adolescents fortement prédisposés à la maladie, annoncent des chercheurs américains. L'anticorps injecté, le teplizumab, cible des cellules immunitaires impliquées, pour ce type de maladie auto-immune, dans la destruction des îlots de Langerhans du pancréas producteurs d'insuline. **P. K.**

SOURCE : EMILY SIMS, UNIVERSITÉ DE L'INDIANA, ÉTATS-UNIS.

Écrire à la main favorise la mémoire

COGNITION Écrire à la main plutôt qu'au clavier ou avec un stylet sur tablette favorise une activité cérébrale profitable à la mémoire. C'est ce que suggère une étude japonaise qui a soumis 48 étudiants à des travaux d'écriture. Une heure après, chaque participant a fait un exercice de mémoire, le cerveau surveillé par IRM. Ceux qui avaient écrit au stylo présentaient une activité de mémorisation plus solide. **H. J.**

SOURCE : KEITA UMEJIMA, UNIVERSITÉ DE TOKYO, JAPON.

PLAINPICTURE

L'écriture manuscrite stimule davantage les zones cérébrales de mémorisation que la saisie sur clavier.

Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguez à l'Institut Curie, 1er Centre français de recherche en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens à l'Institut Curie, premier centre français de recherche en cancérologie, est un formidable message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé par Marie Curie, vous effectuez un geste de générosité envers les générations futures, vous donnez aux chercheurs et médecins les moyens de prendre le cancer de vitesse et associez votre nom à ce combat pour la vie.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE

institut Curie

ENSEMBLE, PRENONS LE CANCER DE VITESSE

curie.fr

Pour tout renseignement contacter Catherine Ricatte - Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 34 - catherine.ricatte@curie.fr

institut Curie

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compléter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

☐ Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.

☐ Je souhaite être contacté en toute confidentialité par votre responsable legs, donations et assurances-vie.
Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ▶

☐ Mme ☐ M. Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

SA0421

Les Basques sont des Ibères comme les autres

PEUPLEMENT Une vaste analyse d'ADN réalisée pour éclaircir les origines des Basques révèle… qu'ils sont bien des Ibères comme les autres, du moins génétiquement. Que leur langue n'ait aucune parenté avec les langues indo-européennes a longtemps intrigué, mais cela s'expliquerait par de longues « périodes d'isolement » depuis les débuts de l'âge du fer, il y a 2800 ans. Le substrat génétique, lui, étant le même que dans le reste de la péninsule Ibérique. **B. A**

SOURCE : ANDRÉ FLORES-BELLO, INSTITUT DE BIOLOGIE DE L'ÉVOLUTION DE BARCELONE, ESPAGNE.

M. BEBBER/KENT STATE UNIVERSITY EXPERIMENTAL ARCHAEOLOGY LAB.

Répliques des pointes de flèche mises au jour dans le Wisconsin, aux États-Unis.

La plus ancienne utilisation du cuivre

CHALCOLITHIQUE Certains groupes Amérindiens de la région des Grands Lacs nord-américains utilisaient déjà le cuivre pur il y a au moins 8500 ans, selon de nouvelles datations de pointes de flèche trouvées dans le Wisconsin. L'âge du cuivre amérindien pourrait ainsi être plus ancien que les premières utilisations du métal, documentées jusqu'ici en Irak, selon les chercheurs. **H. J.**

SOURCE : DAVID POMPEANI, UNIVERSITÉ DU KANSAS, ÉTATS-UNIS.

IMAGINECHINA/AFP

Constitué à 84 % du métal précieux, l'œuvre devait peser au complet environ 500 g, selon les archéologues.

Un masque en or d'une culture chinoise mystérieuse

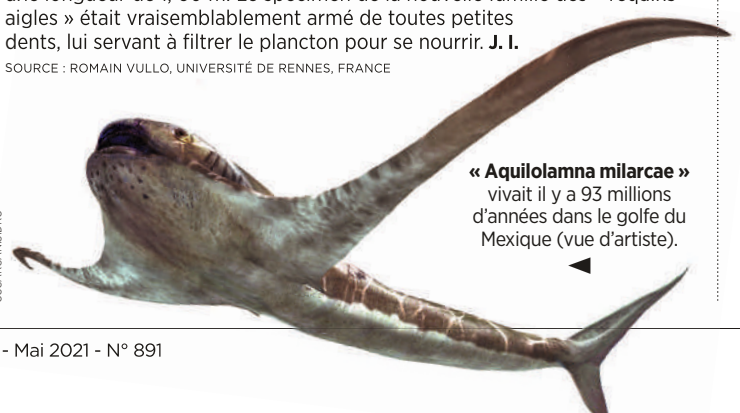
Une civilisation originale et longtemps ignorée, vieille de 3000 ans, sort de terre dans la province du Sichuan.

ARCHÉOLOGIE Un extraordinaire masque en métal précieux vieux de 3000 ans a été mis au jour en Chine sur le site de Sanxingdui, à Guanghan, au Sichuan. Composé à 84 % d'or, cet accessoire de cérémonie devait, complet, peser près d'un demi-kilo. La présence de traces de combustion sur les 500 objets qui l'accompagnaient suggère qu'il pourrait s'agir d'offrandes sacrificielles. Ces vestiges proviennent de six fosses dégagées entre novembre 2019 et mai 2020. Cela fait un siècle que sont mis au jour à Sanxingdui des objets différents de tout ce qui était connu jusque-là dans l'art chinois, avec en particulier d'imposantes statues aux yeux saillants, découvertes par des archéologues en 1986. Ce site de l'âge du bronze qui s'étale sur près de 2000 ans (2800-800 avant J.-C.) est ainsi devenu un gisement archéologique de premier plan. Plus important même, pour certains spécialistes, que la célèbre armée d'argile de Xi'an, au Shaanxi. Sans doute contemporaine de la dynastie Shang, cette culture originale et longtemps ignorée pourrait avoir été au cœur de l'État de Shu, un ancien royaume du Sichuan (VIIIe-Ve siècles avant J.-C.). **B. A.**

Le requin manta avait de petites dents

PALÉONTOLOGIE Des chercheurs ont mis au jour le fossile d'un étonnant requin qui vivait il y a 93 millions d'années dans les eaux du golfe du Mexique. Semblable aux actuelles raies mantas, *Aquilolamna milarcae* était équipé de deux grandes ailes lui donnant une envergure de 1, 90 m pour une longueur de 1, 60 m. Le spécimen de la nouvelle famille des « requins aigles » était vraisemblablement armé de toutes petites dents, lui servant à filtrer le plancton pour se nourrir. **J. I.**

SOURCE : ROMAIN VULLO, UNIVERSITÉ DE RENNES, FRANCE



OSCAR SANISIDRO

« Aquilolamna milarcae » vivait il y a 93 millions d'années dans le golfe du Mexique (vue d'artiste).

47 millions d'années

L'âge de la plus vieille mouche

PALÉONTOLOGIE

Le fossile d'une mouche datant de l'éocène a été découvert en Allemagne, avec l'estomac rempli de pollen de quatre plantes primitives différentes. De quoi reconstituer en partie l'environnement que l'insecte pollinisait il y a 47 millions d'années. H. J.

SOURCE : SONJA WEDMANN, MUSEUM SENCKENBERG, ALLEMAGNE.

*À force d'entendre qu'on ne vaut rien, on finit par le croire.

APPRENTIS D'AUTEUIL

À Apprentis d'Auteuil, nous voyons le meilleur en chacun des 30 000 jeunes (1) que nous accompagnons jour après jour dans nos 240 établissements. Aidez-les à construire leur avenir.

LA CONFIANCE PEUT SAUVER L'AVENIR

FAITES UN DON sur www.apprentis-auteuil.org

(1) Selon le rapport d'activité Apprentis d'Auteuil 2019.
Agence Marcel - © Aurélien Chauvaud.

WARBURTON ET AL.

Les longs doigts du marsupial lui permettaient de se hisser dans les arbres.

Quand les kangourous grimpaient aux branches

ÉVOLUTION *Congruus kitcheneri*, une espèce éteinte de grand kangourou qui vivait en Australie entre -2,6 millions et -12 000 ans, passait probablement la moitié de son temps dans les arbres. Les squelettes de cet animal d'environ 40 kg découverts dans la plaine de Nullarbor comportent des doigts et des orteils exceptionnellement longs pour un marsupial de cette taille. **H. J.**

SOURCE : NATALIE WARBURTON, MURDOCH UNIVERSITY, AUSTRALIE.

15 minutes

Le temps pour asphyxier Pompéi

ANTIQUITÉ De nouvelles simulations numériques de l'éruption du Vésuve (Italie), en 79 de notre ère, ont permis de modéliser et quantifier les courants de densité pyroclastiques, ou « nuées ardentes », qui se sont abattus sur la zone habitée de Pompéi. Les chercheurs ont établi que le passage du nuage brûlant de gaz et de poussières a duré environ quinze minutes. Or les humains n'auraient pas pu survivre au-delà de deux à cinq minutes d'exposition. **B. A.**

SOURCE : PIER FRANCESCO DELLLINO, UNIVERSITÉ DE BARI, ITALIE.

S. SCHEINER/AP/SIPA

Les fragments ont été découverts dans une grotte de Cisjordanie.

Des écrits bibliques du IIe siècle

PHILOLOGIE Des fragments de parchemin biblique vieux de 2000 ans ont été découverts dans une grotte du désert de Judée, en Cisjordanie. C'est l'une des plus importantes trouvailles depuis celle des 900 manuscrits de Qumran, sur les rives de la mer Morte, entre 1947 et 1956. Des passages des livres de Zacharie et de Nahoum, issus des 12 petits prophètes de la Bible ont été déchiffrés. **B. A.**

HASSAN MOHAMED/DPA/ABACAPRESS

Des poteries et de nombreux autres objets ont été mis au jour sur le site de la cité, près de Louxor.

Une « cité perdue » de 3000 ans en Égypte

ÉGYPTOLOGIE « L'Ascension d'Aton », c'est le nom attribué par les autorités égyptiennes à une exceptionnelle « cité perdue » du Nouvel Empire, fondée sous le règne d'Amenhotep III il y a plus de 3000 ans près de Louxor. Retrouvés en septembre 2020, ces vestiges à ce jour décrits comme ceux d'une « ville » ont livré des bagues, des scarabées, des poteries colorées et des briques portant le cartouche du pharaon, père d'Akhenaton. **B. A.**

SOURCE : MINISTÈRE DES ANTIQUITÉS ÉGYPTIENNES.

www.sciencesetavenir.fr et www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et La Recherche au quotidien

ESPACE
Le calendrier du télescope James Webb

NASA

C'est peu dire que le successeur de Hubble est attendu : le télescope spatial James Webb (JWST) qui devait rejoindre l'espace vers 2005 partira enfin cette année après des retards multiples. Avant son départ prévu le 31 octobre, la Nasa vient de publier le programme de sa première année d'observation. Des déçus et des heureux, et la science reste la grande gagnante. Décryptage sur le site de **La Recherche**. https://bit.ly/3sdmsXI

INTERNATIONAL
« Nous avons de vraies pépites convoitées par la Chine »

AFP

Plus que la guerre commerciale, c'est la guerre technologique qui importe, insiste Antoine Bondaz, de la Fondation pour la recherche stratégique, qui décrypte dans un entretien exclusif les annonces du plan quinquennal dévoilé par Pékin. sciav.fr/891Chine

SANTÉ
Comment la Commune de Paris a influencé la médecine moderne

AKG IMAGES

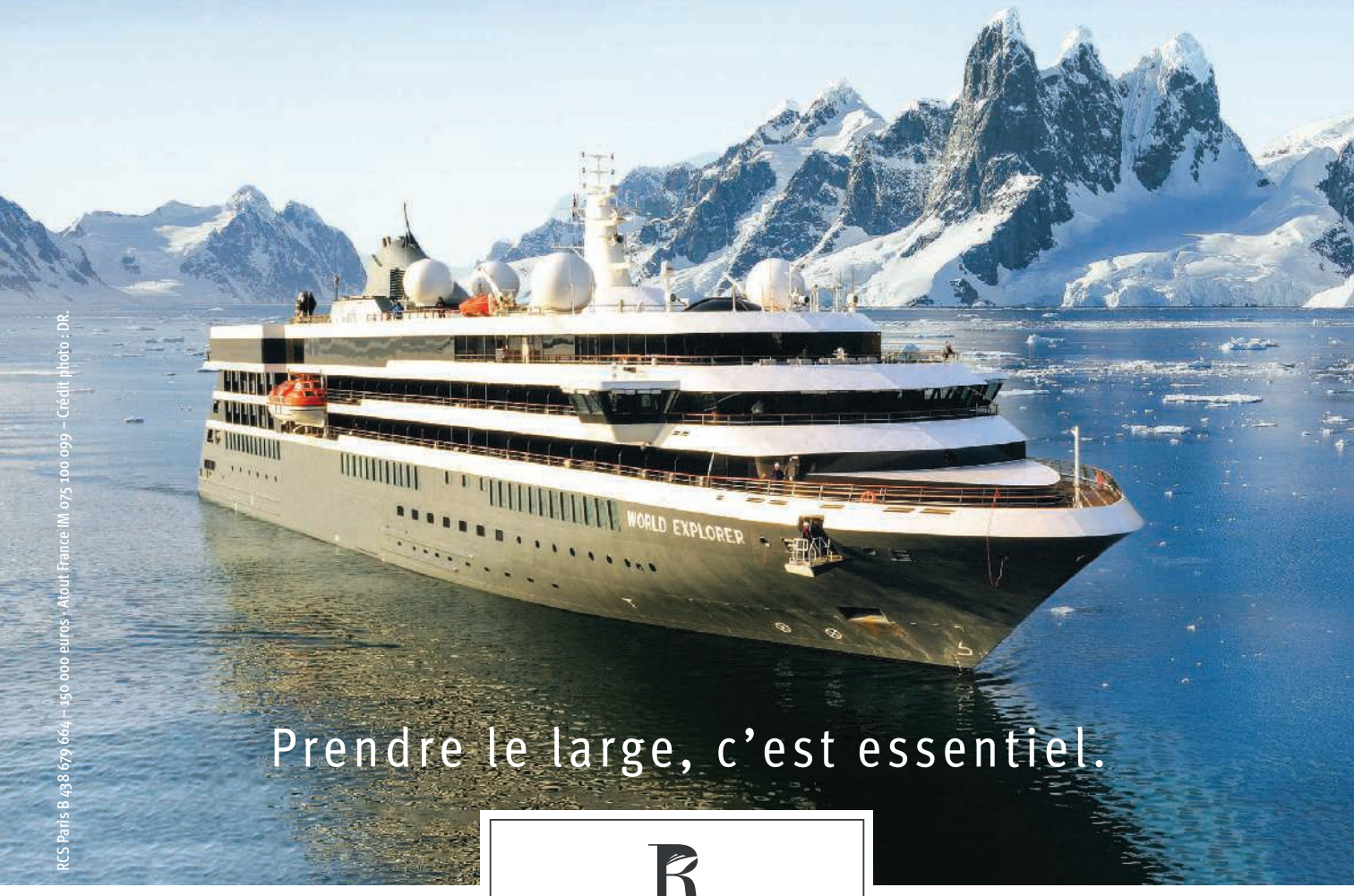
Lancée le 18 mars 1871, la Commune de Paris fête ses 150 ans. Cette période d'insurrection a été aussi importante pour la pratique de la santé, avec le neurologue Jean-Martin Charcot ou le physiologiste Claude Bernard. sciav.fr/891Commune

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

Croisières

EXPÉDITIONS

Villages inuits du Groenland • Incroyable Arctique
Le Spitzberg



Prendre le large, c'est essentiel.

RIVAGES
DU MONDE

Embarquez à bord d'un véritable yacht d'expédition pour 180 passagers seulement. Un navire plus écologique doté de technologies de pointe permettant d'accéder aux ports les plus reculés. Vos conférenciers présents à bord : des scientifiques spécialistes des régions polaires.

SA01

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR

Voguer. Échanger. Rêver

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros – Atout France IM 075 100 099 – Crédit photo : DR.

Voyage aux confins de l'Univers

La galaxie la plus lointaine — 13,4 milliards d'années-lumière — dévoile ses contours. Un exploit réalisé par Hubble alors qu'un nouveau télescope spatial encore plus puissant sera lancé cette année. Plongée spectaculaire aux limites du cosmos mais aussi du Système solaire.

Dossier réalisé par
Franck Daninos, Joël Ignasse,
Fabrice Nicot, Sylvie Rouat

Jamais encore une galaxie n'avait été observée si loin de nous : 13,4 milliards d'années-lumière *(voir photo p. 26)* ! Lorsqu'elle est découverte en 2014 grâce au télescope spatial Hubble, cette tache aux contours flous n'est qu'une galaxie lointaine parmi d'autres. Il faut attendre la publication de sa distance précise en décembre 2020, dans la revue *Nature Astronomy*, pour s'apercevoir que « GN-z11 » nous ouvre en réalité la porte des confins de l'Univers. En effet, sachant qu'une seule année-lumière vaut 9460 milliards de kilomètres, son éloignement est considérable : environ 100 000 milliards de milliards de kilomètres...

À quoi ressemble précisément cette galaxie si lointaine ? *« GN-z11 n'a pas beaucoup de points communs avec notre Voie lactée,* observe Daniel Schaerer, astronome à l'observatoire de Genève, qui a participé à son étude. A priori, *elle est environ 15 fois plus petite, même si l'on ne la voit peut-être pas en entier, seulement les parties les plus brillantes. Elle est aussi beaucoup moins massive. En revanche, elle forme des étoiles à un rythme intense. C'est un embryon de galaxie en réalité, en pleine croissance.* »

Un « bébé » galaxie... Ce n'est pas très surprenant, car voyager loin dans l'espace, c'est aussi remonter le temps. Dans le cas de GN-z11, sa lumière a mis 13,4 milliards d'années à nous parvenir. Nous la voyons donc telle qu'elle était seulement 420 millions d'années après le Big Bang. L'Univers est alors tout jeune, comme tout ce qu'il contient... Mais alors, les étoiles de GN-z11 sont-elles les premières à avoir illuminé le cosmos ? « *Non,* regrette Daniel Schaerer. *Les premières étoiles, dites de population III, étaient gigantesques, probablement*

NASA/ESA/ESO/WOLFRAM FREUDLING ET AL. (STECF)

Au cœur d'une galaxie très lointaine, des étoiles gigantesques se forment à partir d'immenses nuages de gaz. La lumière la plus vive est émise par de la matière en train de disparaître dans un trou noir supermassif (vue d'artiste).

OBSERVATION

Des instruments pour voir encore plus loin

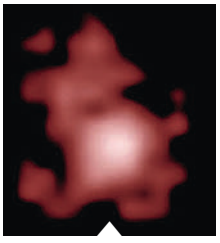
Le JWST (James Webb Space Telescope), qui devrait être lancé fin octobre, est l'instrument le plus attendu pour l'observation des confins de l'Univers. *« On passe d'un miroir de 2,4 m avec Hubble à 6,5 m*, explique Daniel Schaerer, astronome à l'université de Genève (Suisse). *Soit une surface sept fois plus grande. Cela devrait permettre de détecter des centaines de galaxies du type de GN-z11. Nous pourrons les compter, mesurer leur masse, déterminer leur composition chimique grâce l'analyse très fine de la lumière émise. »* De quoi voir enfin la lumière des premières étoiles, au sein de galaxies en formation ? David Elbaz, astrophysicien au CEA (Saclay, Essonne), est réservé : *« Je ne crois pas que le JWST sera capable de distinguer la lumière d'étoiles individuelles particulières. Il est déjà difficile de distinguer des galaxies comptant plusieurs milliards d'étoiles, alors quelques-unes ! »* Ce qui ne signifie pas pour autant qu'il faille désespérer d'au moins les apercevoir. *« Certains modèles prédisent que ces étoiles, lorsqu'elles explosent, produisent des sursauts gamma, des flashs d'énergie intenses*, reprend David Elbaz. *Nous avons proposé à l'Agence spatiale européenne (ESA) la mission Theseus, un satellite qui sera capable de voir ces sursauts gamma, et d'accéder ainsi à ces astres. »* La décision de financer cette mission devrait être prise par l'ESA en juin. Enfin, autre instrument attendu avec impatience par les astronomes : l'ELT (Extremely Large Telescope), le télescope européen en construction au Chili. *« Son miroir sera six fois plus grand que le JWST, ce qui offrira une résolution six fois supérieure*, reprend Daniel Schaerer. *Même si ces caractéristiques seront un peu gâchées par l'atmosphère. Quoi qu'il en soit, nous l'utiliserons pour observer des galaxies lointaines auparavant repérées par le JWST. Les deux instruments seront ainsi complémentaires. »* **F. N.**

100 à 1000 fois plus massives que le Soleil, et extrêmement brillantes. Nous n'avons pas encore détecté leur lumière, ni dans GN-z11, ni dans les 118 galaxies un peu moins lointaines étudiées dans le programme Alpine. »

Les premières étoiles étaient gigantesques

En d'autres termes, si la quête des confins nous a conduits aux premières galaxies, il faudra mettre au point des instruments encore plus sensibles pour atteindre les premières étoiles *(lire ci-dessus)*. Ce qui n'empêche pas les astrophysiciens d'avoir une bonne idée de ce à quoi devaient ressembler ces astres mythiques. *« Pour l'instant, ce sont les modèles qui nous renseignent*, explique David Elbaz, directeur scientifique du département d'astrophysique du CEA (Saclay, Essonne). *À ses débuts, l'Univers se compose essentiellement d'un gaz d'atomes d'hydrogène et d'hélium formés juste après le Big Bang, lors de la nucléosynthèse primordiale. Ce matériau est le seul disponible pour fabriquer des étoiles. Pour cela, un nuage de gaz doit s'effondrer sur lui-même, afin que la pression au centre permette la fusion des atomes entre eux. Or, pour s'effondrer, le gaz doit libérer son énergie sous la forme de lumière, ce que l'hydrogène et l'hélium ne permettent que très peu. Les simulations indiquent que le nuage doit atteindre 1000 fois la masse du Soleil avant qu'il ne s'effondre. Voilà pourquoi les premières étoiles étaient gigantesques. »*

Toujours selon les modèles, ces premiers soleils sont des étoiles « cigales » : elles brûlent leur gaz très rapidement, environ en 2 à 3 millions d'années, avant d'exploser en supernova. Ce cataclysme génère des atomes plus gros : carbone, oxygène, azote etc. et les dissémine dans l'Univers. La présence de ces éléments lourds va modifier le mode d'effondrement des nuages, qui vont se fragmenter et former des générations d'étoiles plus petites. *« Ce sont elles qui font briller GN-z11*, conclut David Elbaz. *Néanmoins, si l'on n'observe pas directement les premières étoiles, on peut se consoler en pensant qu'elles ont très probablement peuplé cette galaxie auparavant. C'est un peu comme contempler un site archéologique après la disparition de ses*



NASA, ESA AND G. BACON (STSCI)

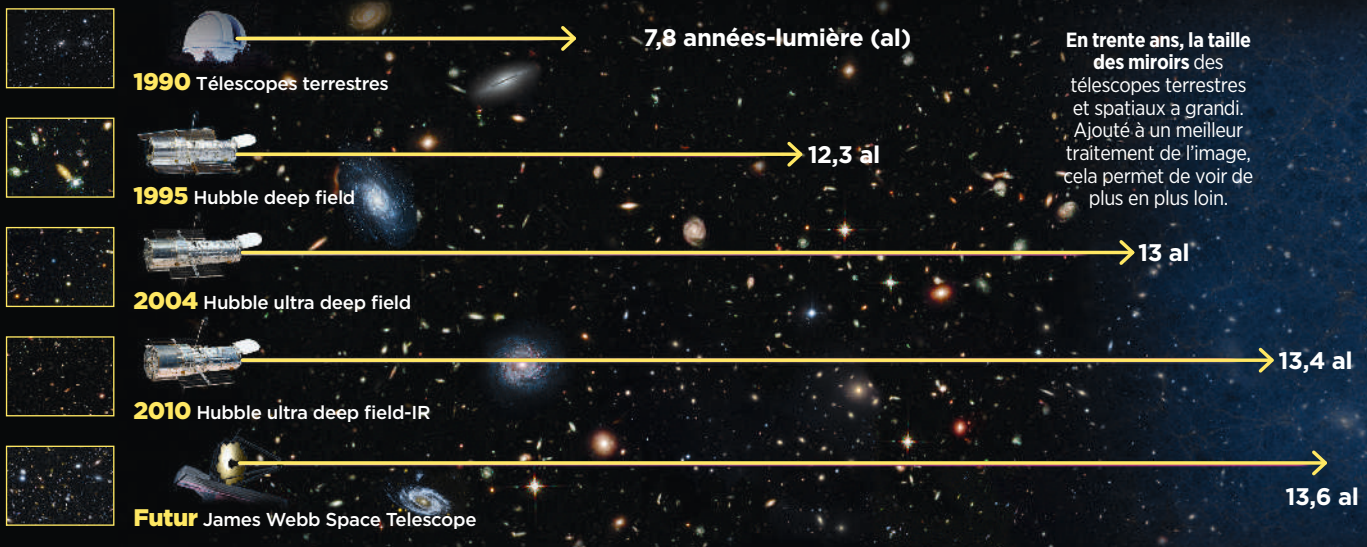
La galaxie GN-z11 vue par Hubble à 13,4 années-lumière de nous. Très loin, elle est aussi très jeune : elle fabrique des étoiles à un rythme effréné, ce qui la fait briller.

FORMATION

Le son avant la lumière

L'Univers issu du Big Bang est composé d'un plasma opaque, un ensemble d'électrons et de noyaux d'atomes. Cette « soupe primordiale » à plusieurs millions de degrés est parcourue d'ondes de chocs, des alternances de compressions et de dilatations. Ce qui correspond à la définition d'un son. Ainsi, à ses débuts, l'Univers est sonore ! C'est seulement lorsque le plasma se refroidit à 3000 °C, 380 000 ans après le Big Bang, que les noyaux capturent les électrons et forment des atomes. La disparition du plasma d'électrons permet alors à la lumière de se propager, mais les vibrations cessent. L'Univers se tait en devenant lumineux. F. N.

La révolution des téléscopes spatiaux



Une année-lumière (al) = 9460 milliards de kilomètres

NASA, ESA

habitants. » Les astrophysiciens sont aujourd'hui certains que ces étoiles éblouissantes n'étaient pas les seules à peupler les confins. Mieux : elles n'étaient sans doute pas les premières ! C'est ce que semblent confirmer des résultats qui viennent d'être publiés en mars par une équipe d'astronomes du Jet Propulsion Laboratory, aux États-Unis. Elle a annoncé avoir détecté un puissant jet de rayons X émis par un trou noir niché au cœur d'une galaxie à 12,7 milliards d'années-lumière. Certes, c'est moins loin que GNz-11, mais il s'y trouvait sans doute bien avant. Ce flash, capté par le télescope spatial Chandra, provient d'un repas pris par le trou noir, à base d'étoiles et de nuage de gaz. La décharge d'énergie s'étend sur 160 000 années-lumière (1,5 fois plus grand que la Voie lactée), et son intensité est telle qu'elle n'a pu être émise que par un trou noir un milliard de fois plus massif que le Soleil. Jamais un tel astre n'avait été détecté si loin dans l'Univers, donc si tôt dans l'histoire du cosmos. Comment une quantité aussi gigantesque de matière a-t-elle pu s'agréger si rapidement, sachant qu'un trou noir se forme habituellement par l'effondrement gravitationnel d'une étoile d'au moins 1,4 masse solaire arrivée en fin de vie ? C'est l'un des mystères aujourd'hui les plus débattus en cosmologie… D'autant plus que des trous noirs supermassifs ont été détectés dans d'autres galaxies lointaines.

D. ELBAZ

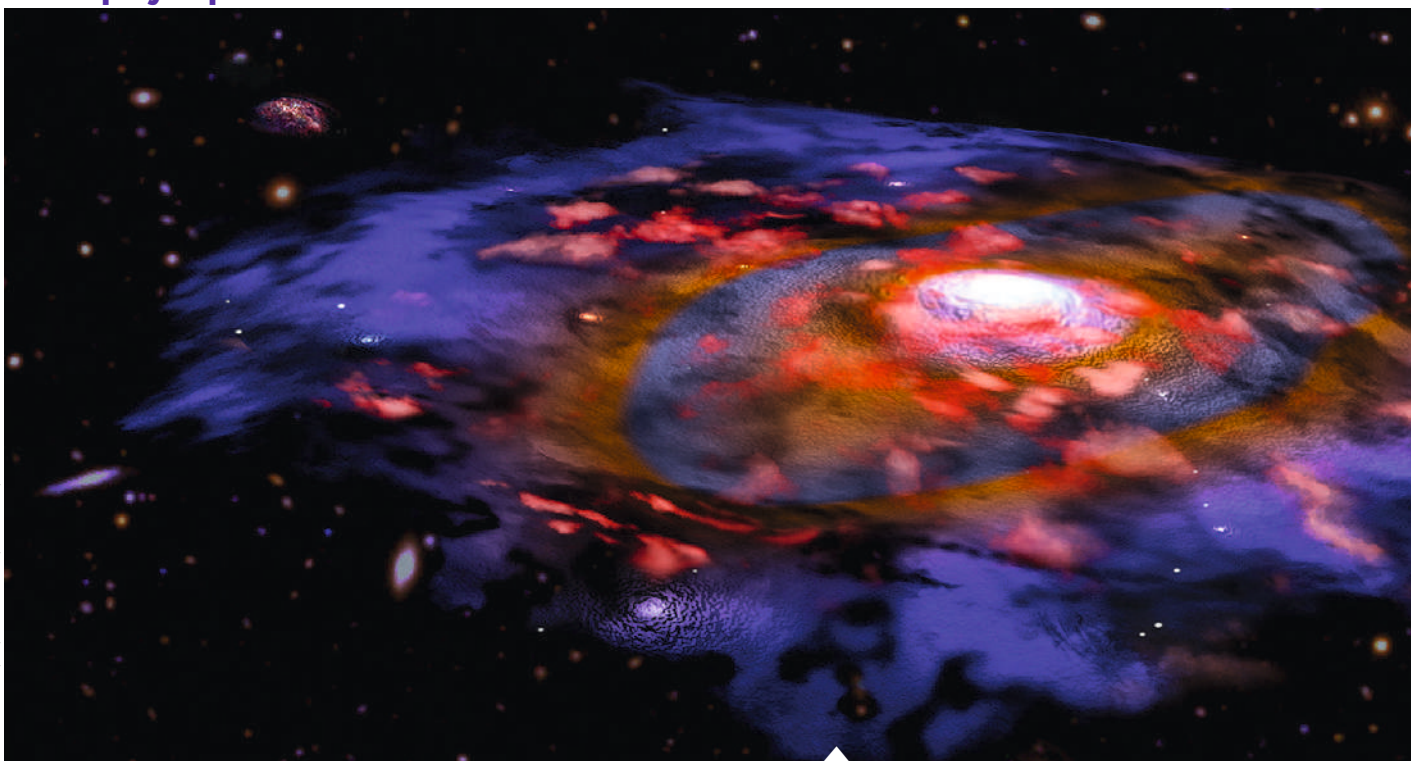
« Si l'on n'observe pas directement les premières étoiles, on peut penser qu'elles ont peuplé cette galaxie »

David Elbaz, directeur scientifique du département d'astrophysique du CEA, à Saclay (Essonne)

À la recherche des trous noirs primordiaux

Plusieurs pistes pour expliquer leur formation sont explorées, en commençant par la voie classique. Selon David Elbaz, *« on peut imaginer que dans certains cas, les immenses nuages de gaz de l'Univers primordial se sont effondrés pour donner naissance directement à des trous noirs de plusieurs milliers de masses solaires, sans passer par l'étape "étoile". Ces trous noirs intermédiaires, de quelques milliers à centaines de milliers de masses solaires, auraient ensuite fusionné pour former des trous noirs supermassifs. »* L'ennui avec cette thèse, c'est que longtemps, les trous noirs intermédiaires ont manqué à l'appel. Mais le premier, de 55 000 masses solaires, vient justement d'être découvert *(lire p. 8)* !

Il existe néanmoins un autre mode de formation qui nous emmène cette fois tout près du Big Bang. *« Ce sont les trous noirs primordiaux*, explique Vincent Vennin, chercheur en cosmologie à l'université de Paris. *Ils seraient appa-*



B. SAXTON (NRAO/AUI/NSF; ESO, NASA/STSCI, NAOJ/SUBARU

Vue d'artiste d'une galaxie très jeune : la couleur rouge correspond au gaz, le bleu et le brun aux poussières. Le centre est occupé par un trou noir hypermassif.

rus dans les premières secondes de l'Univers, alors que celui-ci n'était constitué que d'énergie. Elle n'était pas également distribuée dans l'espace. Les modèles indiquent qu'il suffit qu'en certains points la densité ait été deux à trois plus importante que la moyenne pour que cette concentration d'énergie ait "creusé" l'espace-temps, jusqu'à former des trous noirs. »

On ne dispose aujourd'hui d'aucune preuve de l'existence de ces trous noirs primordiaux, mais elle n'est pas impossible à établir selon Vincent Vennin. « *Un trou noir "primordial" peut avoir n'importe quelle masse. Contrairement à un trou noir issu de l'effondrement d'une étoile, qui doit peser au moins 1,4 masse solaire. Il sera difficile de dire si un trou noir supermassif est primordial. En revanche, si nous en détectons un d'une masse de l'ordre de celle du Soleil, alors il sera nécessairement primordial.* » Chaque mois ou presque, les détecteurs d'ondes gravitationnelles Virgo et Ligo enregistrent des fusions de « petits » trous noirs. Ils font pour l'instant quelques dizaines de masses solaires. Mais si jamais un poids plume était détecté, alors il faudrait imaginer les confins de l'Univers comme ayant d'abord été peuplés par ces astres noirs...

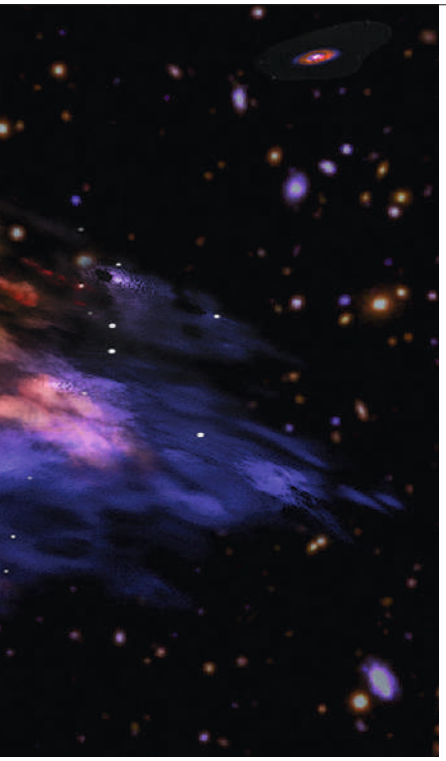
Une limite infranchissable pour les scientifiques

En attendant de proposer un dessin plus précis des objets les plus lointains visibles depuis la Terre, les scientifiques savent qu'ils se heurteront toujours à une limite infranchissable. Elle se situe à 13,8 milliards d'années-lumière, l'instant du Big Bang. Ou plus exactement 380 000 ans après. C'est à cette époque que l'Univers a suffisamment refroidi pour que la lumière puisse se propager en ligne droite. Cette toute première lueur correspond au fond diffus cosmologique, qui a été mesuré avec précision par le satellite Planck en 2013. Il représente la première image de notre univers, à une époque où aucun

PROCESSUS

Comment l'âge sombre s'est éclairci

Avec l'émission de sa première lumière, 380 000 ans après le Big Bang, l'Univers est rempli d'une sorte de brouillard, un gaz essentiellement composé d'atomes d'hydrogène. C'est l'âge sombre. Il va s'éclaircir sous l'effet des rayons ultraviolets issus des premières étoiles, qui vont arracher des électrons (ioniser) des atomes, ce qui va permettre aux photons de voyager sur des distances cosmiques. C'est ce que l'on appelle la réionisation. Cette période clé est encore bien mystérieuse : sa chronologie fait débat et la source d'énergie qui l'a amorcée n'est pas complètement connue. Mais la recherche vient de faire un grand pas avec la découverte publiée en mars par Roland Bacon, du Centre de recherche astrophysique de Lyon, de milliards de galaxies naines très lointaines. Leur lueur éclaire des filaments cosmiques imagés pour la première fois avec le radiotélescope Alma, à environ 12,5 milliards d'années-lumière de la Terre. Les étoiles, produites en quantité phénoménale par ces galaxies, ont pu réchauffer et « casser » les atomes d'hydrogène. **J. I.**



astre ne s'est encore formé. Il n'y a que du gaz. Le fond diffus inaugure un âge sombre qui va durer jusqu'à ce que les toutes premières étoiles s'allument.

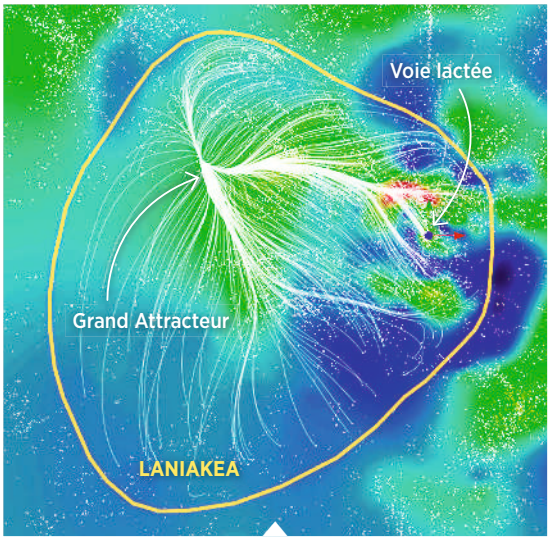
« *Tout ce que nous savons sur cette époque, nous le lisons dans le fond diffus cosmologique*, reprend David Elbaz. *Son étude nous indique que l'Univers, 380 000 ans après le Big Bang, est composé d'une mystérieuse matière noire, qui contient six fois plus de masse que la matière classique. Nous savons aussi que sa répartition n'est pas homogène : elle forme des grumeaux. La matière classique a sans doute été attirée gravitationnellement par ces concentrations de matière noire, coulant vers elles, s'accumulant comme l'eau dans le lit d'un lac. Ce qui a pu engendrer des concentrations massives de gaz dans lesquelles se sont formées les premières étoiles. Elles vont non seulement rendre l'Univers lumineux, mais aussi plus transparent* [lire l'encadré ci-contre]. » À quelle date exactement l'Univers devient-il visible ? Pour y répondre, l'exploration des confins se poursuit... ■ **F. N.**

@ fnicot07

Les frontières de notre galaxie se précisent

La Voie lactée appartient à une immense superstructure nommée Laniakea, dont les filaments sont bordés de vastes zones de vides.

UNE « RIVIÈRE » de galaxies d'un côté et une bulle de vide de l'autre : voilà ce à quoi ressembleraient les confins de notre galaxie. Pour comprendre comment les astrophysiciens sont parvenus à dessiner ce paysage, il faut d'abord rappeler que les objets célestes ont un comportement grégaire, réunis par la force de gravité en systèmes de plus en plus massifs et étendus. Notre système solaire est ainsi logé dans l'un des bras de la Voie lactée, un groupe de 200 à 400 milliards d'étoiles tournoyant autour d'un bulbe central. La Voie lactée appartient elle-même à une communauté de plus de 60 galaxies, baptisée le Groupe local. Grâce aux travaux d'une équipe internationale — dont faisait partie l'astrophysicienne française Hélène Courtois — menée par Brent Tully, de l'université de Hawaii, aux États-Unis, on sait depuis 2014 que le Groupe local n'est qu'une composante mineure, avec des milliers d'autres amas galactiques, d'une superstructure nommée Laniakea (« immense paradis » en hawaiien).



SDVISION INTERACTIVE VISUALIZATION SOFTWARE BY DANIEL POMARÈDE AT CEA/SACLAY

Ces filaments figurent des milliards de galaxies de Laniakea qui se dirigent vers le Grand Attracteur.

La grande migration des galaxies

Cette superstructure dessine un réseau de filaments connectés, les zones d'intersection abritant des superamas de galaxies. Ces filaments de galaxies et de matière noire — proportionnellement cinq fois plus abondante — se dirigent à la vitesse de 400 à 600 km/s vers une même région de l'espace, sorte de bassin-versant gravitationnel connu sous le nom de Grand Attracteur. En migrant ainsi vers les zones les plus denses, les galaxies laissent derrière elles de vastes régions de plus en plus vides.

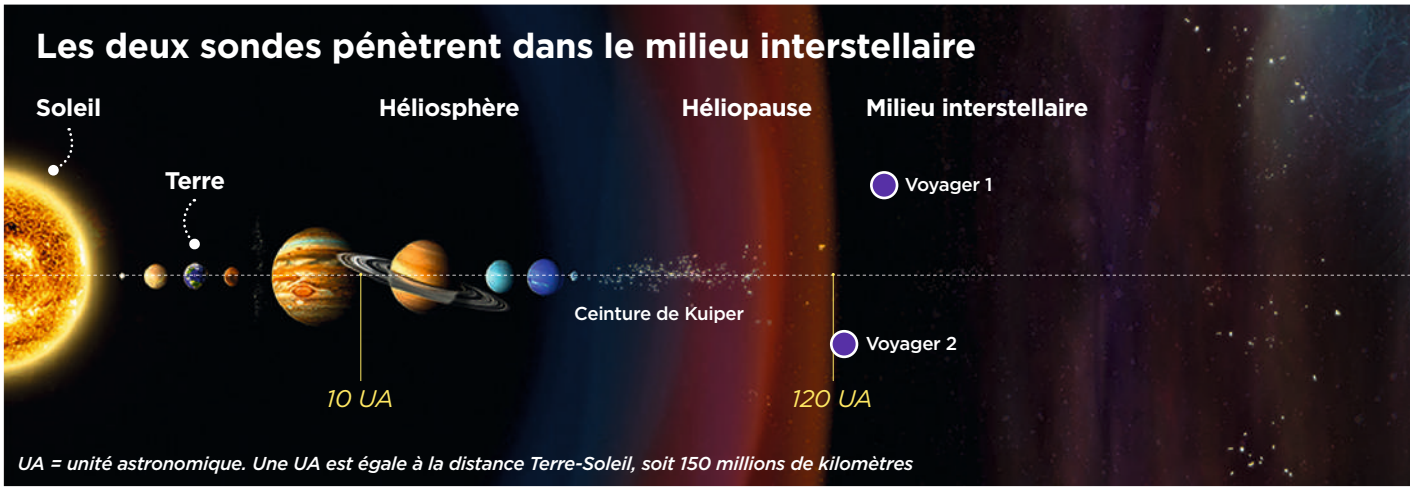
En 2019, l'équipe de Brent Tully a cartographié un immense désert cosmique (150 millions d'années-lumière sur 230) bordant la Voie lactée et connu sous le nom de Vide local. Notre galaxie fait partie de la « peau » qui délimite cette immense bulle de vide, appelée Voile local. Les confins de notre galaxie sont ainsi composés d'un côté d'un courant galactique dense filant à grande vitesse vers les constellations du Centaure et de l'Équerre, et de l'autre d'une bulle où les galaxies se raréfient. ■ **S. R.** @srouat1

Deux sondes ont franchi les limites du Système solaire

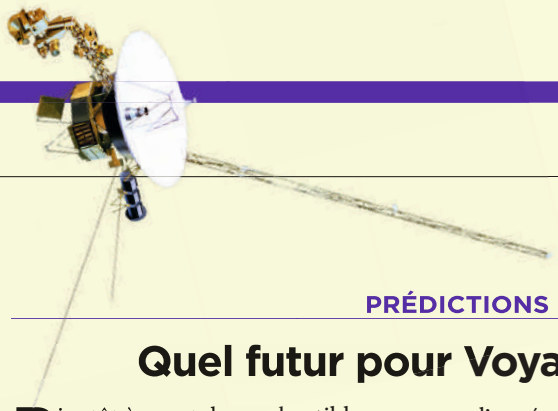
Après avoir survolé les planètes géantes, Voyager 1 et Voyager 2 nous envoient les premières mesures jamais faites dans l'espace interstellaire.

DES RAFALES DE PARTICULES possédant une énergie faramineuse de 100 millions d'électronvolts, tourbillonnant et filant à la vitesse de plusieurs centaines de milliers de kilomètres par seconde vers l'immensité de l'espace intersidéral… Voilà le spectacle qu'observent aujourd'hui les plus lointains engins jamais envoyés vers l'espace depuis la Terre. Il a été détaillé en décembre 2020 par des astronomes de l'université de l'Iowa (États-Unis). Les deux sondes de la Nasa Voyager 1 et Voyager 2 se trouvent respectivement à 23 et 19 milliards de kilomètres de la Terre. Soit à la bordure d'un territoire qui enveloppe et donne naissance à toutes les étoiles mais dont on ne sait que très peu de choses : le milieu interstellaire. « *Les bouffées de particules enregistrées par les sondes résultent des ondes de choc générées par de violentes éruptions solaires*, explique Alain Lecacheux, chercheur à l'observatoire de Paris qui a collaboré pendant quinze ans aux missions Voyager. *Après un voyage d'un an et demi, ces ondes atteignent les lignes de champ magnétique du milieu interstellaire et accélèrent fortement les particules qui s'y trouvent, notamment les électrons.* » C'est la première fois que l'on peut mesurer ces processus prédits par les théoriciens. « *Et c'est surtout la première fois qu'un phénomène physique est mesuré directement dans l'espace interstellaire !* », jubile l'astronome. Partis en 1977 de cap Canaveral en Floride, les deux vaisseaux devaient profiter d'un alignement planétaire qui ne survient que tous les cent soixante-quinze ans pour visiter tour à tour les quatre géantes du Système solaire externe : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Des milliers de sillons composant les anneaux de Saturne aux gigantesques panaches volcaniques d'Io, un des satellites naturels de Jupiter, en passant par les atmosphères bleutées d'Uranus et de Neptune, les découvertes sont aussi nombreuses qu'importantes. Or après le survol — en 1989 — de Neptune, qui gravite à 4,5 milliards de kilomètres du Soleil, la Nasa jugea que les sondes jumelles de 800 kg qui embarquent chacune 11 instruments (spectromètres, magnétomètre, détecteurs de particules, etc.) étaient toujours en bon état de marche.

Elle leur assigna alors un nouvel objectif : rallier les contrées qui ne sont plus régies par l'activité de



CHARLES CARTER/KECK INSTITUTE FOR SPACE STUDIES



NASA/JPL

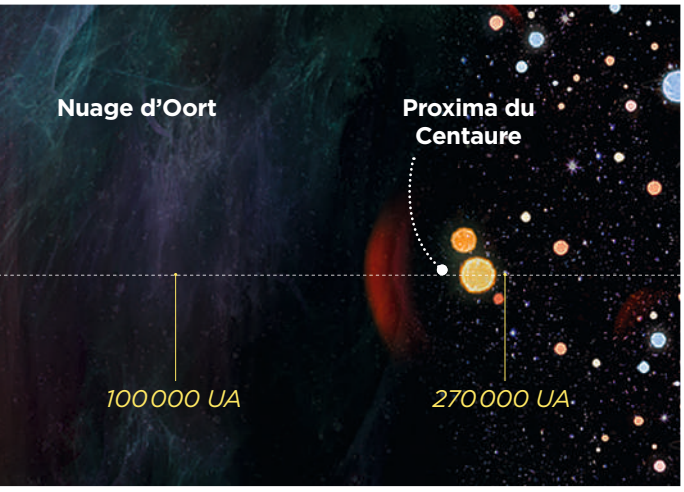
notre étoile et explorer ainsi, pour la toute première fois, le milieu interstellaire. Il leur faudra encore des milliers d'années avant de s'affranchir de toute influence du Soleil… Pour l'heure, elles sont les premières à jamais avoir franchi une zone frontière, l'héliopause. « *Le Soleil expulse chaque seconde des millions de tonnes de particules dans toutes les directions de l'espace*, explique Gérard Belmont, du Laboratoire de physique des plasmas à l'École polytechnique. *Constituées essentiellement d'électrons et de noyaux d'hydrogène, elles forment un fluide qui souffle sur toutes les planètes du Système solaire et s'étend sur une vaste région qu'on appelle l'héliosphère.* »

Un mur qui protège la Terre des radiations énergétiques

Or ce fluide finit par en rencontrer un autre, celui du milieu interstellaire, rempli de poussières et d'une kyrielle de particules (électrons, atomes, molécules…) électriquement chargées. Tous deux magnétisés, les milieux ne se mélangent pas. « *À l'héliopause, les particules soufflées par le Soleil s'arrêtent* », indique Gérard Belmont. De même qu'une partie des particules du milieu interstellaire. Cette région est donc semblable à un « mur » qui protège la Terre et les autres planètes du Système solaire des radiations extrêmement énergétiques.

Les physiciens pensaient que cette démarcation devait se situer à 7 voire 9 milliards de kilomètres du Soleil, soit environ 50 unités astronomiques (UA, 1 UA correspondant à la distance entre notre étoile et la Terre soit 150 millions de kilomètres). Mais ces jalons ont été atteints puis dépassés sans que les sondes n'en détectent la moindre trace. « *Le suspense a été très long, les scientifiques désespérant de rencontrer un jour le milieu interstellaire* », se remémore Alain Lecacheux. Une première bordure est néanmoins franchie en 2004 par Voyager 1 et trois ans plus tard par sa comparse (l'une filant à 60 000 km/h, l'autre à 55 000 km/h) à environ 80 UA. « *C'est à cette distance que le vent solaire commence à ressentir l'influence du milieu interstellaire, sa vitesse chutant brutalement de 400 à 100 km/s* », signale Gérard Belmont. Puis le vent solaire continue de ralentir en douceur jusqu'à ce que sa vitesse soit nulle. Mais là encore, cette sorte de « *gaine* » va se révéler beaucoup plus épaisse que prévu. Les Voyager n'en sortiront en effet qu'en 2012 et 2018, toutes deux à quelque 120 UA. Enfin l'outre-monde !

Tel est bien, au demeurant, l'un des principaux enseignements de cette prodigieuse mission : « *Nous connaissons désormais la structure et les limites précises de l'héliosphère, ce qui aurait été impossible sans relevés* in situ », insiste Gérard Belmont. La forme de l'héliosphère a pu elle-même être caractérisée grâce aux données que les sondes recueillent depuis quelques années dans le milieu interstellaire, sur son champ magnétique



PRÉDICTIONS

Quel futur pour Voyager 1 et 2 ?

Bientôt à court de combustible nucléaire, les deux vaisseaux cesseront de communiquer d'ici quatre ou cinq ans. Pour l'heure, il poursuivent leur extraordinaire voyage. Un astronome de l'université de Groningue (Pays-Bas), Nick Oberg, a présenté en janvier ce que pourraient être les « prochaines » grandes étapes. Ce n'est pas avant 20 000 ans que les deux sondes dépasseront le nuage d'Oort, s'affranchissant alors définitivement de la force gravitationnelle du Soleil. Et il faudra 10 000 ans de plus pour s'approcher d'une première étoile, la naine rouge Ross 248. Dans 500 millions d'années, les sondes auront réalisé une révolution complète autour du centre de la Voie lactée. Les prédictions deviennent des plus hasardeuses au-delà de 4 à 5 milliards d'années, lorsque notre galaxie entrera en collision et fusionnera avec celle d'Andromède. Les Golden Records à bord des sondes — disques où des enregistrements de Mozart et de Chuck Berry, parmi des tas d'autres choses, ont été encodés —devraient toutefois survivre, présume Nick Oberg, grâce à leurs revêtements en or, cuivre et aluminium. Alors que l'humanité et la Terre auront sans doute disparu depuis longtemps… **F. D.**

G. BELMONT

« Nous connaissons désormais les limites précises de l'héliosphère, ce qui aurait été impossible sans relevés *in situ* »

Gérard Belmont, astrophysicien, directeur de recherche CNRS, Laboratoire de physique des plasmas de l'École polytechnique, à Palaiseau (Essonne)

N. VAS-DEYRES

NATACHA VAS-DEYRES ENSEIGNANTE ET CHERCHEUSE À L'UNIVERSITÉ BORDEAUX-MONTAIGNE

« La notion de confins est "allégorisée" dans la science-fiction »

Pour faire voyager ses héros aux confins de l'Univers, la science-fiction doit surmonter l'absence de réponse précise des scientifiques sur la nature de ceux-ci.

Le thème de l'exploration spatiale est aussi ancien que la science-fiction. Bernard de Fontenelle (1657-1757) évoque des astres habitables en 1686 dans *Entretien sur la pluralité des mondes*. Aujourd'hui, elle est au cœur du *space opera*, illustré par la saga *Star Wars* et sa collection de planètes. Ces mondes sont séparés par de grandes distances, mais nous ne sommes pas dans les confins qui signifient "le point le plus éloigné". À part Poul Anderson dans *Tau zéro* (1967) ou Liu Cixin dans *La Mort immortelle* (2010), très peu d'auteurs s'y sont risqués, car les confins de l'Univers posent plusieurs problèmes que la science ne résout pas. Or, l'inventivité des auteurs est nourrie par les théories scientifiques. Premier problème : le transport. Comment parcourir les distances incommensurables séparant les galaxies ? Certains utilisent la théorie des trous de vers dans l'espace-temps, qui relient instantanément deux points très éloignés, comme dans le film *Interstellar* (2014), de Christopher Nolan. Mais qu'un être humain puisse traverser un trou de vers indemne n'est pas très crédible. L'autre difficulté vient du fait que les auteurs ont du mal à se représenter cet ailleurs. Là non plus, les cosmologistes ne les aident pas car ils étudient l'Univers accessible aux instruments. Or, les "confins" sont une "frontière". Qu'y a-t-il au-delà de cette frontière, en dehors de l'Univers ? Les astrophysiciens n'ont pas de réponses. Alors, pour explorer les confins, les auteurs ont rusé. Ils les ont allégorisés, comme dans *2001 : l'Odyssée de l'espace* (1968), de Stanley Kubrick scénarisé par le romancier Arthur C. Clarke. Le héros dans la scène finale part très loin dans l'espace, projeté par une

D. FOUCAULT

DIDIER FOUCAULT

PROFESSEUR ÉMÉRITE D'HISTOIRE MODERNE À L'UNIVERSITÉ TOULOUSE-JEAN-JAURÈS

« L'infini est né de l'imagination »

À la suite d'Aristote au IVe siècle avant notre ère, les savants ont, des siècles durant, déployé des trésors d'imagination pour représenter de façon rationnelle un Univers dont l'immensité excède nos moyens d'observation.

Univers unique ou multivers ? Comment imaginer les espaces qui excèdent nos moyens d'investigation ? Ces interrogations de la science contemporaine courent à travers le temps depuis le IVe siècle avant J.-C., lorsque les savants grecs, abandonnant les cosmogonies mythologiques pour donner une cohérence rationnelle aux phénomènes astronomiques, se rallient aux thèses du traité *Du Ciel* d'Aristote. L'observation des étoiles, notamment, montre qu'elles tournent autour de l'axe des Pôles, en formant des constellations dont la figure reste identique. Pour le philosophe grec, suivi par Ptolémée, le cosmos tout entier est clos dans cette "voûte céleste" ou "orbe des étoiles fixes". Ils l'imaginent comme une sphère matérielle, centrée sur la Terre et dont le mouvement se transfère aux orbes inférieurs des planètes, du Soleil et de la Lune. Certes, dans le sillage de Démocrite et d'Épicure, des philosophes postulent un univers infini traversé par des atomes, mais ce schéma ne rend pas compte de la régularité des mouvements des astres. Par l'intermédiaire des Arabes, cette cosmologie est adoptée par les savants chrétiens médiévaux. Elle ne contredit pas la Bible et réserve au Créateur l'un de ses attributs : l'infinitude. Enfin, Thomas d'Aquin, reprenant Aristote, fait de l'animation de la sphère ultime une preuve de l'existence de Dieu. Nul alors n'envisage que l'Univers s'étendrait au-delà. Au mieux — comme Nicolas de Cues — suggère-t-on qu'il serait « *indéfini* ». Au XVIe siècle, l'apport de Copernic est ambigu. Bien que centré sur le Soleil, son cosmos demeure confiné dans la sphère des étoiles fixes. Toutefois, un tel décentrement repousse l'orbe étoilé très loin de Saturne. Le copernicien Giordano Bruno en conclut que l'Univers est infini et peuplé d'une infinité de "mondes" ; thèse hérétique qui le conduit

intelligence extraterrestre, pour arriver dans un lieu où il se voit vieillir, mourir puis revenir à sa naissance. Le voyage vers les confins se transforme en une boucle, un cycle. Les artistes inventent d'autres "stratégies d'évitement", comme les multivers (hors de notre Univers il y a d'autres Univers) ou encore une dialectique entre l'infiniment grand et l'infiniment petit comme dans *Men in Black*, où l'Univers tout entier n'est plus qu'une bille, jouet d'extraterrestres géants. Enfin, dans la série *Star Trek*, l'exploration se traduit par des rencontres avec des civilisations variées. Dans ce cas, les confins, c'est la rencontre de l'Autre. » ■

Propos recueillis par F. N.

sur le bûcher en 1600. Son tragique exemple incite les astronomes "novateurs" à la prudence, même s'ils pensent, comme Galilée, que l'Univers est infini ou ne se prononcent pas sur ses limites, les télescopes n'étant pas assez puissants pour étudier les phénomènes très lointains. Les constructions cosmologiques du XVIIIe siècle sont donc hypothétiques (les tourbillons de Descartes, en attendant les nébuleuses de Kant et de Laplace au siècle suivant). Une large place est laissée à l'imagination ; certains, comme Pascal, s'angoissent au seuil de ces "espaces infinis", d'autres, comme Cyrano de Bergerac, s'y amusent à faire évoluer leurs personnages romanesques. » ■ **Propos recueillis par Mathieu Nowak**

DAVID NUNUK/SCIENCE PHOTO LIBRARY

Les antennes du Canberra Deep Space Communication Complex (CDSCC) de la Nasa, installées près de la capitale de l'Australie, reçoivent en continu les données des sondes Voyager.

notamment. Particulièrement intense, celui-ci exerce une pression dix fois plus forte qu'attendu ! *« Les physiciens ont donc refait leurs calculs. Et contrairement à ce qu'ils estimaient depuis des décennies, l'héliosphère n'est pas oblongue, telle une queue de comète, mais ressemble plutôt à une énorme bulle »*, détaille Alain Lecacheux.

Les mesures de température et de densités de particules fournissent aussi leurs lots de surprises. Elles montrent que le milieu interstellaire local est bien plus chaud, poreux et turbulent qu'escompté, donnant du grain à moudre et des données inestimables aux théoriciens. Sans compter la découverte communiquée fin 2020 par l'université de l'Iowa, qui prouve qu'*« une étoile aussi banale que le Soleil, en raison de ses éruptions, fabrique elle-même des rayons cosmiques très énergétiques irradiant les profondeurs de l'Univers. Avec de tels rayonnements, le Soleil doit être visible de très loin ! »*, s'enthousiasme l'astronome.

Mais alors que les deux Voyager poursuivent leur périple et continuent d'engranger des informations, nous ne saurons sans doute jamais quand elles atteindront le milieu interstellaire profond. Les sondes naviguent en effet dans une zone de transition, semblable à la gaine de l'héliosphère… qui pourrait s'étendre sur des dizaines de milliards de kilomètres ! Or les deux engins spatiaux — vieux de 44 ans — auront épuisé leurs réserves d'énergie vers 2025, estime la Nasa.

« Pour prendre la relève et documenter le milieu interstellaire, l'agence américaine étudie une nouvelle mission », rapporte Alain Lecacheux. Sept fois plus rapide que les Voyager, elle pourrait quitter la Terre à l'horizon 2030, pour parcourir 1000 UA en cinquante ans ! Tel serait pour l'heure l'ultime frontière que l'humanité pourrait atteindre. Car la limite suivante, qui correspond à la frontière gravitationnelle du Système solaire et aux plus lointaines comètes retenues par notre étoile, se situe à 100 000 UA. Et l'étoile la plus proche, Proxima du Centaure, à plus du double… Donc tout aussi inaccessibles, l'une comme l'autre, dans un avenir raisonnable. ■ **F. D.**

@fdaninos

ISS La Station spatiale internationale de 450 t a été assemblée en orbite à partir de 1998 sous l'égide des agences spatiales américaine, russe, européenne, japonaise et canadienne. Elle est occupée en permanence depuis fin 2000.

GATEWAY En cours de construction par les partenaires de l'ISS, cette station sera assemblée en orbite autour de la Lune. Elle permettra d'explorer notre satellite et de préparer une future mission vers Mars.

MICROGRAVITÉ L'ISS est en orbite basse à environ 400 km de nous. La frontière spatiale est établie à 100 km d'altitude, mais la gravité terrestre étant sensible au-delà, on ne parle donc pas d'apesanteur mais de microgravité.

Pesquet dans l'ISS : dernière escale avant la Lune

L'astronaute français, nommé commandant, entame un deuxième séjour de six mois dans la Station spatiale internationale. Parmi les nombreuses expériences qu'il réalisera, plusieurs concernent directement le retour des humains sur la Lune.

Par Sylvie Rouat @srouat1

Après un premier séjour dans la Station spatiale internationale (ISS) entre novembre 2016 et juin 2017, le rêve spatial de l'astronaute français Thomas Pesquet reprend vie. Si tout se passe comme prévu, le 22 avril au petit matin, il sera parti pour entamer un deuxième séjour de six mois à bord de l'ISS. Un second voyage au goût d'inédits. Tout d'abord, fini le voyage dans le vaisseau russe Soyouz qui l'avait transporté pour son premier vol depuis la base de Baïkonour au Kazakhstan. Place à la capsule américaine Crew Dragon, propulsée par le lanceur Falcon 9 de l'entreprise privée SpaceX depuis le pas de tir d'Apollo 11, sur la base spatiale de cap Canaveral (Floride). Le contraste est saisissant. En lieu et place d'un habitacle conçu par les Soviétiques au début des années 1960, dans lequel l'équipage appuyait sur des boutons à l'aide de baguettes, des écrans tactiles, sur lesquels pianotent des pilotes assis confortablement dans des fauteuils, illuminés par des éclairages LED, le tout dans un sobre habillage blanc et noir. Elon Musk, le fantasque fondateur de SpaceX (également à la tête des automobiles électriques Tesla), est passé par là : il a rhabillé le spatial d'atours design, avec moult clins d'œil à la science-fiction du XXe siècle. Autre originalité inédite : Thomas Pesquet et ses acolytes vont emprunter une capsule… d'occasion. Pour optimiser les coûts, la vision d'Elon Musk repose en effet sur le « réutilisable ». Une doctrine qui s'appliquera pour la première fois à une capsule habitée. Le Français vêtu d'une combinaison spatiale au look futuriste aura donc embarqué avec les Américains Shane Kimbrough, Megan McArthur, le Japonais Akihiko Hoshide, dans

SPACE X

Les écrans du cockpit de Crew Dragon sont 100 % tactiles (ici Thomas Pesquet avec les simulateurs dans les locaux de SpaceX, en Californie, aux États-Unis).

SPACE X

la même capsule qui a emmené quatre astronautes vers la station le 16 novembre dernier.
« *Il y a eu quelques modifications dans les systèmes de protection, mais c'est réellement le même véhicule qui doit revoler*, affirme Benji Reed, directeur de SpaceX. *L'objectif est en effet d'aller vers une routine semblable à celle que l'on applique aux avions : ravitaillement en carburant, contrôle technique et retour sur la piste pour un nouveau vol.* » Si tout se déroule comme prévu, cette mission ouvrira donc une nouvelle ère pour le réutilisable dans le vol spatial habité, après l'arrêt en juillet 2011 des navettes américaines. Celles-ci avaient été conçues dans les années 1980 comme le premier avion spatial de l'histoire. Et cela avait fonctionné : elles décollaient à la verticale sur le dos d'un lanceur et atterrissaient sur une piste comme un avion. Mais ce mode de transport spatial s'est révélé être le plus cher de l'histoire… et le plus mortel : 14 personnes ont péri dans les accidents de Challenger (1986) et de Columbia (2003). L'aventure a pris fin après 135 vols. Se sont ensuivies neuf années de dépendance envers les capsules russes Soyouz et Progress pour le fret.
La Nasa avait aussitôt lancé deux programmes (Cots et CCDev) pour confier à des acteurs privés américains le développement et le

Thomas Pesquet (à gauche) sera accompagné de l'Américaine Megan McArthur, de son compatriote Shane Kimbrough et du Japonais Akihiko Hoshide dans la capsule privée américaine Crew Dragon de SpaceX. (Ici une répétition du vol aller avec les combinaisons imaginées par José Fernandez, créateur de costumes pour le cinéma.)

lancement de vaisseaux-cargos et de capsules habitées concurrentes. SpaceX, aux côtés de Boeing et Northrop Grumann, a emporté la mise et a très vite mené la course en tête. Le premier amarrage à l'ISS de son vaisseau-cargo Dragon a lieu en mai 2012. Mais d'emblée, Elon Musk a voulu aller plus loin et rendre durables les équipements spatiaux, à un moment où tous les acteurs du secteur rejetaient cette idée, échaudés par l'échec de la navette. Outre la sécurité, leurs arguments étaient économiques. Remettre en état un engin ayant affronté des températures de rentrée atmosphérique pouvant atteindre plus de 2000 °C est forcément coûteux. Pourtant, à partir de 2016, les lanceurs Falcon 9 et les vaisseaux Dragon ont été systématiquement réutilisés. Aujourd'hui, un premier étage de Falcon 9 a déjà réalisé neuf vols et neuf récupérations sans pause. L'objectif du constructeur est de réaliser entre 10 et 100 vols d'affilée avec cet élément.

Le vaisseau Crew Dragon, largement inspiré de sa version cargo, s'inscrit dans la même lignée : chaque exemplaire est conçu pour voler une dizaine de fois. Traumatisée par ses échecs passés, la Nasa a toutefois temporisé jusqu'en juin 2020, date à laquelle elle a donné son accord pour ce vol d'un vaisseau réutilisé. Du côté des astronautes, la question du réutilisable se pose aussi avec inquiétude. « *Le débat fait rage*, explique Thomas Pesquet quelques semaines avant le vol. *Il y a deux écoles. L'une pense qu'un véhicule neuf est plus sûr. L'autre dit que si l'engin a déjà rempli sa mission, c'est qu'il fonctionne bien.* » Optimiste, l'astronaute français a adhéré à cette dernière. Premier Européen à voler avec l'opérateur privé SpaceX, il fera donc aussi partie du premier équipage à voler sur une capsule ayant déjà volé. « *C'est aussi la première fois que la Jaxa, la Nasa et l'Esa* [respectivement agences spatiales japonaise, américaine et européenne] *volent ensemble* », complète Hiroshi Sasaki, vice-président de la Jaxa.

Et ce n'est pas la fin des « premières ». Thomas Pesquet deviendra aussi le premier Français commandant de bord de l'ISS, durant le dernier mois de sa mission en orbite. « *C'est comme sur un bateau, le commandant est le seul maître à bord après Dieu. Mon rôle sera alors d'être l'interlocuteur du centre de contrôle. Et en cas de problème, c'est le commandant qui distribue les tâches d'urgence* », explique-t-il. Une responsabilité qui s'ajoutera à celle de mener à bien la mission Alpha, ainsi dénommée en référence à Alpha du Centaure. Ce nom fait écho à sa précédente mission, Proxima, l'étoile la plus proche du Système solaire, qui appartient précisément au système planétaire Alpha du Centaure. La visée devient plus large et les objectifs de la mission plus lointains et ambitieux.

ESA

« Nous devrions avoir un Européen sur la Lune avant la fin de la décennie »

Didier Schmidt, chargé de la stratégie et de la communication pour l'exploration humaine et robotique à l'Esa

JOSH VALCARCEL - NASA - JOHNSON SPACE CENTER

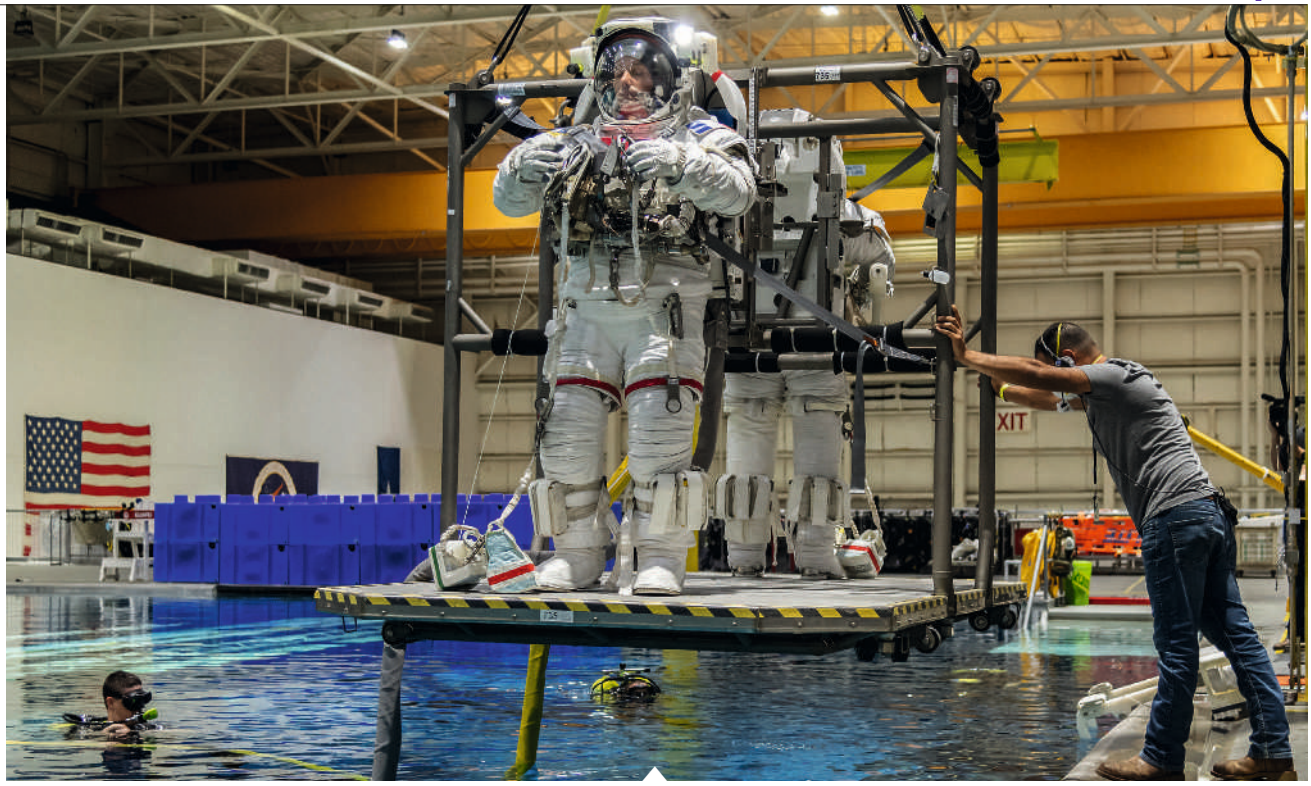
Sur Terre, le scaphandre de quelque 100 kg est lourd à porter. Mais en micropesanteur, le poids ressenti n'est plus que d'un peu plus de 15 kg.

CRÉDIT

EXPÉRIENCE PÉDAGOGIQUE

Un blob dans la station spatiale

Le blob (*Physarum polycephalum*) est un organisme unicellulaire déconcertant. Ni animal ni végétal, dépourvu de cerveau, il est pourtant capable de se déplacer à une vitesse de 3 mm/h, de se nourrir, de s'organiser et transmettre des informations à ses congénères ! Cet habitant des sous-bois vient de poser ses bagages en apesanteur, sous la garde bienveillante de Thomas Pesquet. Comment va-t-il vivre son séjour ? Cette expérience va-t-elle avoir un impact sur sa nutrition, sa croissance, sa vitesse de déplacement ? L'expérience Blob-ISS est filmée et va alimenter l'enseignement de plus de 2000 établissements scolaires français qui vont comparer le comportement des blobs spatiaux avec ceux qu'ils ont en charge dans leur classe sur Terre. Une expérience à suivre sur les réseaux sociaux : #EleveTonBlob



BILL STAFFORD / NASA - JOHNSON SPACE CENTER

L'entraînement sous l'eau, dans la piscine de la Nasa à Houston (États-Unis), permet de simuler sur Terre les conditions d'impesanteur. Revêtus de leur scaphandre, les astronautes se familiarisent avec les techniques d'une sortie extravéhiculaire.

« Nous entrons dans une ère différente du vol habité, souligne Thomas Pesquet. *Nous nous préparons à aller sur la Lune, un objectif qui va mobiliser les astronautes de ma génération et des suivantes.* » L'Agence spatiale européenne est en effet largement impliquée dans le programme américain Artemis visant à construire la station Gateway en orbite autour du satellite de la Terre, avant d'y poser des astronautes. *« L'ESA doit réaliser 50 % de la station, dont un module d'habitation*, souligne Didier Schmidt, chargé de la stratégie et de la communication pour l'exploration humaine et robotique à l'Esa. *Cela nous a permis de négocier trois vols d'astronautes à bord de la station lunaire à partir de 2025. Nous devrions avoir un Européen sur la Lune avant la fin de la décennie !* » La mission de Thomas Pesquet apparaît ainsi comme l'une des dernières étapes avant le retour à la Lune, après vingt ans d'occupation continue de la station spatiale. Pendant six mois, il va se consacrer aux expériences scientifiques et aux travaux du quotidien. Le Français a confié avant son départ son coup de cœur pour une expérience particulière, développée par le Cnes, l'agence spatiale française : *« Il s'agit de comprendre le vieillissement accéléré que subit un astronaute sur la station à l'aide de huit à neuf mini-cerveaux… Des mini-cerveaux ! Cela sonne comme de la science-fiction, c'est juste incroyable.* » L'expérience Cerebral Ageing va en effet utiliser des organoïdes cérébraux (des groupes de cellules nerveuses) puis les ramener sur Terre pour étudier leur vieillissement à l'échelle moléculaire. Il s'agit dans un premier temps d'une démonstration technologique. Si l'expérience est concluante, les chercheurs de l'Institut Pasteur et de l'école de bio-ingénieurs Sup'Biotech veulent ensuite étudier le développement de différents types d'organoïdes cérébraux, sains ou malades, sur des durées plus longues. Une expérience qui trouve tout son sens dans la perspective de vols habités lointains, qui imposeront aux astronautes les effets délétères de la micropesanteur et d'une exposition prolongée aux radiations ionisantes. Cette étude devrait avoir également des retombées sur Terre,

ESA

Les séances de sport à bord seront moins rébarbatives grâce au casque de réalité virtuelle, qui donnera à Thomas Pesquet l'illusion de pédaler dans les rues de Paris.

pour la compréhension de maladies génétiques telles que le syndrome de Hutchinson-Gilford, qui provoque un vieillissement prématuré chez des enfants.

Autre source d'interrogation pour les futures explorations planétaires : le rythme circadien des astronautes. Sur l'ISS, ils voient le Soleil se lever et se coucher 16 fois par jour, soit toutes les 45 minutes, mais sur la Lune, il s'écoule 14 jours entre le lever et le coucher de notre étoile et inversement. Pour savoir si les astronautes sont capables de s'adapter à de telles variations, Thomas Pesquet va s'équiper pendant plusieurs périodes de sommeil en début, milieu et fin de mission, d'un bandeau frontal nommé Dreams et doté d'un capteur électroencéphalographique. Ses cycles de sommeil spatial seront ensuite comparés à ceux enregistrés avant le vol. Les résultats serviront à mettre en place des thérapies cognitives permettant d'améliorer l'endormissement des astronautes.

L'astronaute français testera aussi un casque de réalité virtuelle pour deux activités très différentes : le pilotage de robots à distance et les séances de sport. Dans le premier cas, l'expérience Pilote se présente comme un jeu vidéo immersif au cours duquel Thomas Pesquet devra guider un drone à travers un parcours d'obstacles et le maîtriser à l'aide d'un bras robotique. Le but est de mettre au point de nouveaux modes de pilotage à distance et sans visibilité pour les robots planétaires et pour les futurs vaisseaux lunaires et martiens. Le second volet s'appliquera lors des deux heures quotidiennes de sport imposées à tous à bord de l'ISS, afin de contrer la perte de masse musculaire et osseuse induite par l'absence de gravité.

CNES/DE PRADA THIERRY, 2020

L'emballage comestible (à base de pain d'épices) Edible Foam va être testé dans l'ISS. Objectif : réduire les déchets à bord..

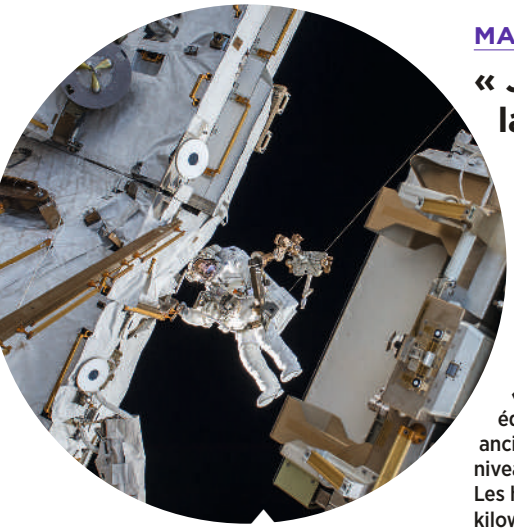
Concrètement, l'astronaute va s'immerger dans les rues de Paris à vélo grâce à des vidéos filmées à 360°, avec une vitesse de défilement adaptée à celle du pédalage. Ici, l'utilisation d'un casque de réalité virtuelle doit permettre d'atténuer le caractère rébarbatif d'un exercice imposé aux membres de l'équipage enfermés dans un décor immuable et sans horizon. L'expérience Immersive Exercise a ainsi pour but de soutenir la motivation des astronautes en prévision d'un futur voyage de six mois en direction de Mars.

Établir une météo des radiations

Mais pour l'heure, la Lune et la station Gateway demeurent l'objectif des équipes qui vont se succéder sur l'ISS. C'est que le premier volet du retour durable à la Lune pose d'emblée un problème. Le voyage vers la station Gateway devrait durer trois jours à bord de la nouvelle capsule Orion, actuellement mise au point par la Nasa, ou de Crew Dragon. Trois jours au cours desquels les passagers seront exposés à d'importantes radiations. Sur l'ISS déjà, les astronautes reçoivent une dose de radiation 100 fois supérieure à celle relevée sur Terre. Cette dose croît à mesure que l'on s'éloigne de notre planète et de la protection offerte par sa magnétosphère.

Pour sécuriser le voyage sélène, Thomas Pesquet testera un nouveau dosimètre à fibres optiques radiosensibles qui, exposées à une source de radiation, s'obscurcissent. Ce qui permet de mesurer la dose ionisante reçue, avec une sensibilité plus élevée que les procédés classiques. L'objectif à terme est de délivrer une météo des radiations avec une heure d'avance. La deuxième mission de l'astronaute français a donc tous les aspects d'une préparation à une troisième, plus lointaine. ■

ESA/NASA



Thomas Pesquet lors de sa sortie de l'ISS, le 24 mars 2017.

MAINTENANCE

« Je suis un peu l'électricien de la station »

La mission Alpha prévoit quatre sorties hors de l'ISS. Thomas Pesquet devrait participer à celle qui permettra d'installer de nouveaux panneaux solaires. *« Je suis un peu l'électricien de la station*, s'amuse l'astronaute français. *Lors de mon premier séjour, j'avais en effet installé de nouvelles batteries. »* Deux sorties extravéhiculaires ont déjà été consacrées, le 28 février et le 5 mars, à l'installation de kits de support des nouveaux panneaux solaires. Ceux-ci, *« d'énormes tubes de 350 kg »* viendront remplacer des équipements qui ont plus de 20 ans pour les plus anciens. Les nouveaux, plus petits, augmenteront les niveaux de puissance actuels de la station de 20 % à 30 %. Les huit panneaux solaires actuels fournissent environ 160 kilowatts d'énergie, dont la moitié est stockée pour les moments où la station est dans l'obscurité, ce qui se produit environ 15 fois par jour.

LINKINNOV

Chercheurs académiques, doctorants, posts-doctorants, votre expertise a de la valeur !

*Linkinnov vous permet de collaborer facilement et rapidement avec des entreprises innovantes à travers une **marketplace inédite de contractualisation pour les missions d'expertise scientifiques**.*

> *Valorisez votre expertise et boostez votre labo*
> *Collaborez avec les entreprises innovantes*
> *Bénéficiez d'un cadre légal, sécurisé et protecteur*
> *Disposez d'un revenu personnel complémentaire*

Qu'est-ce que Linkinnov ?

Linkinnov a été conçu comme un réseau social, le tout premier dédié exclusivement à l'innovation. Il offre aux entreprises qui ont besoin d'innover et aux chercheurs académiques riches de connaissances scientifiques, la possibilité de **se trouver**, d'**échanger** via un chat, des groupes thématiques et bientôt de **contractualiser** pour des missions d'expertise scientifiques.

Missions d'expertise : pourquoi ? pour qui ?

Les chercheurs académiques possèdent, quelque soit leur domaine scientifique, une somme de connaissances indispensables aux entreprises pour développer leurs **programmes d'innovation** et déployer leur feuille de route R&D. Actuellement, il est encore trop compliqué pour ces entreprises d'identifier les compétences, les équipements nécessaires et de contractualiser simplement et rapidement avec l'expert.

Linkinnov répond à ce besoin. Les chercheurs qui le souhaitent deviendront **« Linkinnov Experts »** en quelques clics et pourront réaliser des **missions d'expertise** (prises mesures, expertises CIR, veille technologique, due diligence etc.) pour le compte d'entreprises.

Concrètement, comment ça se passe ?

Annonce - Suggestion de profils - Chat - Contractualisation
L'entreprise exprime son besoin en publiant une annonce sur Linkinnov.
Le moteur de recherche identifie et soumet à l'entreprise des profils d'experts scientifiques correspondant au besoin, et ce, dès la publication de l'annonce.

L'entreprise entame ensuite un dialogue avec l'expert via un chat sécurisé. Ils échangent sur un cahier des charges, s'entendent sur le livrable et le TJM de la mission. Un contrat est alors généré automatiquement et la mission peut commencer.

Quelle valeur ajoutée pour le chercheur ?

Linkinnov offre une **interface de contractualisation** et de **paiement simplifiée** et **sécurisée** au travers d'un modèle unique, pleinement compatible avec le cadre statutaire du chercheur et sans les contraintes administratives et fiscales de l'auto-entreprise. Cette plateforme est un moyen pour l'expert d'obtenir un **complément de revenu** personnel. C'est aussi une façon de gagner en **visibilité**, en mettant en avant son expertise scientifique et en faisant la promotion de son savoir-faire via, par exemple, l'animation d'un groupe scientifique sur le site. Linkinnov voit plus loin et se présente aussi comme un outil permettant d'amorcer des **collaborations** de plus long terme entre la recherche et les entreprises.

L'inscription des «Linkinnov Experts» sera disponible en mai et l'interface de contractualisation cet été.
N'hésitez pas à vous inscrire en quelques clics pour profiter gratuitement des fonctionnalités déjà disponibles et être informé.e en avant première des nouveautés.
À bientôt sur Linkinnov !

CÉLINE CLAUSENER
Directrice Générale de Linkinnov

bpifrance — Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation — Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance — ANR

www.linkinnov.com
connect@linkinnov.com

La course aux échantillons extraterrestres a commencé

Coup sur coup, plusieurs missions ont rapporté des fragments de corps célestes. Leur examen, notamment par des laboratoires français, vient de débuter. Objectif : la connaissance du Système solaire.

JAXA

Hayabusa 2
De couleur très foncée et semblables à du charbon, ces 5,4 g de cailloux et de poussières ont été grappillés en 2019 par la sonde japonaise Hayabusa 2 sur l'astéroïde Ryugu.

Comment le Système solaire et les myriades d'objets qui le composent se sont-ils formés ? Quelle est l'origine de l'eau et des molécules organiques présentes en abondance sur notre planète ? La vie a-t-elle émergé ailleurs que sur Terre ? Les réponses à ces interrogations ne se trouvent pas sur notre planète : il faut aller les chercher sur d'autres astres. C'est-à-dire aller recueillir, à l'aide de sondes robotisées, des échantillons de planètes, de lunes ou d'astéroïdes puis les rapporter pour les analyser. Deux de ces nouvelles missions — la japonaise Hayabusa 2 et la chinoise Change'5 — ont été couronnées de succès en décembre 2020. La première en rapatriant 5,4 g d'un astéroïde extrêmement primitif, vestige de la formation du Système solaire il y a 4,6 milliards d'années ; la deuxième en rapportant 1,7 kg d'échantillons de la Lune, les premiers depuis plus de quarante ans. *« Ces matériaux sont pour le moment minutieusement inventoriés et caractérisés au Japon comme en Chine »*, signale Patrick Michel, astrophysicien à l'observatoire de la Côte d'Azur. Mais aussi en France, comme au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy (CRPG), qui a reçu en début d'année, un fragment des échantillons japonais *(lire l'encadré ci-dessous)*. *« Examinés d'ici à quelques mois avec les plus puissantes techniques d'analyse, ils commenceront alors à dévoiler leurs secrets. »* Et ce n'est qu'un début, une dizaine d'autres missions étant prévues dans les années qui viennent. *« Nous vivons actuellement un âge d'or pour les retours d'échantillons extraterrestres*, se réjouit Patrick Michel. *Grâce à eux, nos connaissances sur le Système solaire feront bientôt des pas de géant. »*

C'est au programme américain Apollo que l'on doit les tout premiers échantillons recueillis sur un autre corps que la Terre : 382 kg de cailloux et de fines poussières ramassés par la dizaine d'astronautes qui, au tournant des années 1960, ont foulé le sol de la Lune. L'URSS a aussi rapporté, entre 1970 et 1976, 326 g de maté-

EXPERTISE

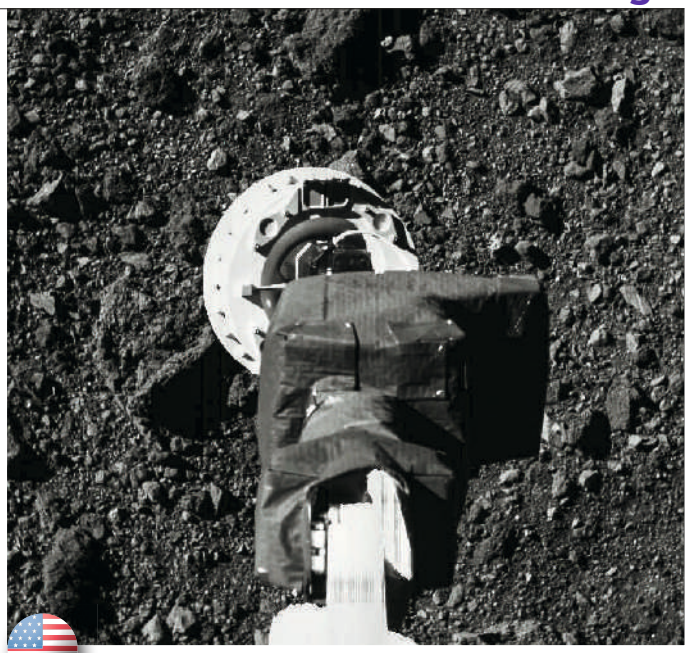
Un laboratoire nancéien à la pointe des recherches

Situé au sud de l'agglomération de Nancy (Meurthe-et-Moselle), le Centre de recherches pétrographiques et géochimiques (CRPG) est le seul au monde à avoir analysé tous les échantillons extraterrestres rapportés jusqu'à présent sur notre planète. *« Des roches lunaires d'Apollo et de Luna aux grains cométaires de Stardust en passant par les particules du vent solaire de la mission Genesis ou les poussières astéroïdales de Hayabusa, tous sont passés au crible de nos instruments »*, se réjouit Bernard Marty, géochimiste au CRPG. Sans oublier des échantillons de gaz, issus de l'astéroïde Ryugu, rapportés fin 2020 par Hayabusa 2 : *« Le résultat des analyses, menées en février, sera publié dans le courant de l'été »*, annonce le chercheur. Les raisons de cette position unique tiennent dans le savoir-faire des géochimistes du CRPG mais aussi dans les instruments d'analyse — telles les sondes ioniques — que le laboratoire a lui-même développés.

SIPA

Change'5

Ce conteneur, récupéré en décembre 2020 en Mongolie intérieure avant d'être transféré à Pékin (Chine), recèle 1,731 kg de matériaux lunaires prélevés en surface et jusqu'à 1 mètre de profondeur.


SIPA

Osiris-Rex

Grâce à cette trompe robotisée de 3 mètres de long, la mission américaine Osiris-Rex a récolté plusieurs centaines de grammes d'échantillons sur l'astéroïde Bénou, en octobre 2020. Retour sur Terre en 2023.

riaux lunaires à l'aide des sondes Luna automatisées. « *Leurs analyses ont révélé des informations capitales sur la chronologie du Système solaire ou l'origine de la Lune, issue d'un impact géant entre la Terre primitive et une protoplanète de la taille de Mars il y a plus de 4 milliards d'années*, rappelle Bernard Marty, du CRPG. *Et ils sont toujours étudiés par des dizaines de laboratoires, dont le nôtre, produisant régulièrement de nouvelles découvertes.* »

Des échantillons pour des générations de chercheurs

Tel est bien, au demeurant, l'un des intérêts majeurs d'une collecte d'échantillons : ces « trésors » peuvent être conservés pendant des dizaines d'années en laboratoire. Ils profitent ainsi à des générations de chercheurs qui les auscultent au gré des nouvelles interrogations et des progrès techniques. Motivées par les rivalités entre les États-Unis et l'URSS, ces missions ont toutefois connu un désintérêt après la conquête de la Lune. Il a fallu attendre une trentaine d'années avant qu'elles ne reviennent sur le devant de la scène. « *Les progrès dans les techniques d'analyse expliquent en partie ce retour en grâce* », avance Bernard Marty. Le développement des sondes ioniques, qui scrutent les matériaux avec des faisceaux d'ions extrêmement fins, mais aussi celui des spectromètres de masse, qui les vaporisent et dissocient leurs constituants de base, ont ouvert en effet de nouvelles perspectives. « *Grâce à ces instruments, on peut sonder la matière à l'échelle atomique… soit une précision de un million de fois plus grande qu'à l'époque des missions Apollo* », détaille Bernard Marty. Ils sont cependant très volumineux, occupant littéralement des salles entières. Impossible, par conséquent, de les embarquer dans un vaisseau spatial. Les roches extraterrestres doivent donc être glanées *in situ* et convoyées ici-bas.

Mais ce changement de vision répond aussi à des besoins plus profonds. « *Nous sommes arrivés à moment charnière de l'exploration spatiale* », observe Frédéric Moynier, chercheur à l'Institut de physique du globe de Paris. Les télescopes et orbiteurs ont certes produit une multitude de découvertes sur les astres du Système solaire. « *Mais, les informations restent parcellaires, souvent limitées aux premiers millimètres ou centimètres du sol*, insiste Frédéric Moynier. *Pour obtenir des réponses plus précises et savoir exactement ce que racontent ces objets, des fragments devront nécessairement être analysés en laboratoire.* »

C'est l'agence spatiale japonaise qui a ouvert la voie aux missions actuelles. Son vaisseau Hayabusa a rapporté, en 2010, quelques milligrammes d'un astéroïde (Itokawa) grâce à une sorte de « trompe » déployée après s'être posé brièvement sur ce bolide filant à 350 millions de kilomètres de la Terre. « *Particulièrement audacieux, ce programme visait surtout à tester des stratégies de collecte*, explique Patrick Michel. *Et quand on voit les succès de son successeur Haya-*

382 kg

C'est le poids total des cailloux et fines poussières lunaires rapportés par les différentes missions du programme américain Apollo.

2031

La date à partir de laquelle le programme Mars Sample Return de l'ESA et de la Nasa rapportera sur Terre les échantillons prélevés par le rover Perseverance sur le sol martien.

PROGRAMMES

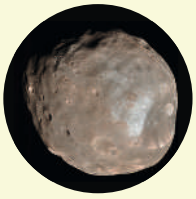
Missions tous azimuts pour une moisson d'échantillons

ASTÉROÏDES

Le vaisseau américain Osiris-Rex, qui a recueilli en 2020 des échantillons de l'astéroïde Benou, les rapportera sur Terre en 2023. La Chine lancera, elle, en 2024, la mission Zheng He à destination de Kamo'oalewa, quasi-satellite de la Terre mesurant 40 m de large.

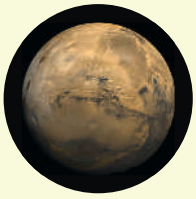
LUNE

Conçues par les agences spatiales chinoise, américaine et européenne, plusieurs missions rapporteront entre 2023 et 2027 de nouveaux fragments. Elles cibleront différents sites, sur la face cachée et au niveau du pôle sud notamment.



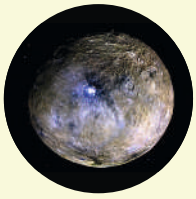
PHOBOS

L'Agence spatiale japonaise lancera en 2024 la mission MMX afin de déterminer l'origine des deux lunes de Mars — Déimos et Phobos. Au moins 10 g de cette dernière seront prélevés à 10 cm de profondeur avant d'être rapportés sur Terre en 2029.



MARS

Le rover de la Nasa Perseverance va collecter, d'ici à quelques mois, des échantillons de roches pouvant contenir des traces d'une vie passée. Ils seront récupérés en 2028 par un second rover avant d'être propulsés en orbite martienne puis rapatriés en 2031.



CÉRÈS

Des missions de retour d'échantillons visant la planète naine Cérès, qui gravite entre Mars et Jupiter et posséderait un océan souterrain, sont étudiées par l'agence spatiale européenne et la Nasa. Elles pourraient prendre leur envol à la fin des années 2020.

COMÈTES

Bien que difficiles à échantillonner en raison de leurs trajectoires et de leurs matériaux gorgés d'eau, les comètes font l'objet de projets. Caesar, piloté par la Nasa, pourrait ainsi cibler Tchouri… mais pas avant une, voire deux décennies.

PHOTOS : NASA - ESA

busa 2, nul doute que ces efforts ont porté leurs fruits. » Contrairement à Itokawa, objet silicaté et très sec, l'astéroïde que Hayabusa 2 a échantillonné est beaucoup plus intéressant. Dénommé Ryugu et mesurant 1 km de diamètre, il est riche en carbone, composés organiques et minéraux hydratés… et ses constituants n'ont quasiment pas évolué depuis la naissance du Système solaire. C'est sur ce type d'astéroïde, à l'automne 2020, que la sonde de la Nasa Osiris-Rex a prélevé des échantillons, de plusieurs centaines de grammes cette fois, qui ne parviendront sur Terre que dans un peu plus de deux ans. Dans les années à venir, une escadre de vaisseaux rapportera d'autres fragments. Ils proviendront d'astéroïdes, mais également de satellites martiens… et sans doute aussi de la planète naine Cérès et des lointaines comètes *(lire ci-dessus)*. Sans oublier la Lune ! La mission chinoise Chang'e 6 rapportera en 2023 des échantillons de l'astre sélène, soit de sa face cachée, soit du pôle sud ; le programme habité Artemis, échafaudé par la Nasa, débutera vers 2025 ; enfin Heracles, conduit par l'Agence spatiale européenne (ESA), le Canada et le Japon est attendu en 2027. Objectifs : mieux comprendre l'histoire et la géologie de notre satellite naturel, mais aussi préparer l'installation de futures bases permanentes. *« De nouvelles données géologiques sont pour cela indispensables, notamment sur les quantités d'eau pouvant être exploitées sur la Lune »*, note Frédéric Moynier.

L'acmé de cette série de missions ne surviendra néanmoins que dans dix ans, en 2031, lorsque le programme Mars Sample Return de la Nasa et de l'ESA rapportera les premiers spécimens martiens. Ils commenceront à être prélevés d'ici à quelques mois par le rover américain Perseverance sur un site où de l'eau coulait il y 3,8 milliards d'années. *« Les sédiments qui s'y sont accumulés ont pu préserver les traces d'une éventuelle vie passée*, s'enflamme Frédéric Moynier. *Mais les instruments de Perseverance ne sauraient fournir, à eux seuls, des preuves décisives.* » Si elles existent, ces traces chimiques ou biominérales sont en effet extrêmement ténues. Seules des analyses réalisées sur Terre, par de multiples laboratoires, seraient irrécusables – d'où l'importance cruciale des échantillons. ■

Franck Daninos @fdaninos

B. MARTY

« La précision des observations est un million de fois plus grande qu'à l'époque des missions Apollo »

Bernard Marty, professeur à l'École nationale supérieure de géologie et chercheur au CRPG, à Nancy

Challenges

Toulouse School of Economics

Jean Tirole
Prix Nobel
d'économie 2014,
Président
honoraire TSE

COMMON GOOD SUMMIT
27-28 mai 2021
TOULOUSE

INÉGALITÉS | CLIMAT | SANTÉ | GAFA | FINANCE

Sauver le Bien commun

Des prix Nobel autour de Jean Tirole échangent avec des leaders internationaux, hauts dirigeants, chercheurs des grandes universités mondiales et de TSE, sur la régulation du capitalisme et la sauvegarde, après la pandémie, de la notion de bien commun

Inscription gratuite sur CommonGoodSummit.com

#CommonGoodSummit

Partenaires officiels

LA POSTE · pwc · Pierre Fabre · La Région Occitanie Pyrénées · Méditerranée · transdev the mobility company

Partenaires médias

SCIENCES AVENIR · La Recherche · LCI

Partenaire associé

LA DÉPÊCHE DU MIDI

Organisé par

Les Echos Le Parisien ÉVÉNEMENTS

Au cœur du manteau terrestre, les vestiges d'une autre planète

Deux mégastructures géologiques proviendraient de Théia, qui aurait percuté la Terre il y a 4,5 milliards d'années. Et dont les débris auraient donné naissance à la Lune.

Modèle tomographique de la Terre montrant (en rouge) les deux anomalies correspondant aux vestiges de Théia, sous l'Afrique (en haut) et le Pacifique central (en bas).

À deux mille kilomètres sous nos pieds, au plus profond du manteau terrestre, sont enfouies deux étranges formations de la taille d'un continent et hautes jusqu'à cent fois l'Everest par endroits. Et à en croire une étude récente menée par Qian Yuan, de l'université de l'État de l'Arizona (États-Unis), ces mégastructures géologiques seraient d'origine extraterrestre ! Des vestiges de Théia plus précisément, la protoplanète qui aurait percuté la Terre il y a 4,5 milliards d'années. Selon un scénario largement admis aujourd'hui, ce sont les débris de cette collision qui auraient donné naissance à la Lune. Et Théia aurait aussi apporté un surcroît de matière à notre jeune planète. Peut-être bien ces deux masses incrustées qui représentent pas moins de 8 % du volume du manteau terrestre.

L'existence des deux anomalies localisées sous l'Afrique et le Pacifique central a été établie dans les années 1980, grâce au développement des premiers modèles tomographiques du manteau terrestre. Les séismes produisent en effet des ondes énergétiques qui voyagent à travers le corps de la planète. La mesure de ces ondes et leur analyse mathématique permettent de reconstituer des modèles tridimensionnels des régions internes du manteau. Ceux-ci montrent que les régions appelées « grandes provinces à faible vitesse de cisaillement » (LLSVP) sont localisées à la frontière entre le noyau et le manteau. Elles sont étrangement disposées à l'équateur, l'une à l'antipode de l'autre, comme si le noyau arborait un casque audio. « *Plusieurs indices indirects indiquent leur stabilité au cours des derniers 250 à 300 millions d'années, et peut-être bien plus loin dans le temps géologique* », souligne Barbara Romanowicz, géophysicienne, professeure au Collège de France.

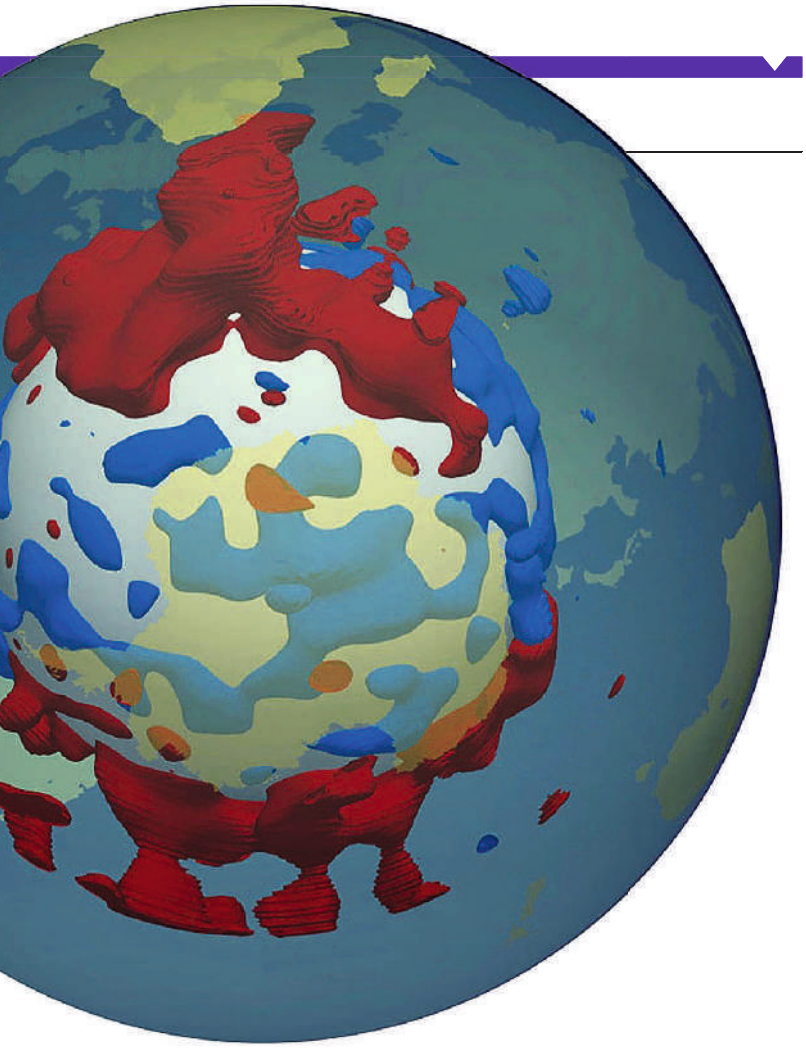
Pour étayer leur hypothèse, les chercheurs américains se sont appuyés sur l'analyse de roches lunaires rapportées par les missions Apollo publiée en 2019 par Steven Desch, astrophysicien à l'université de l'État de l'Arizona. Les rapports d'hydrogène et d'un isotope, le deutérium, mesurés dans certains de ces échantillons lunaires montrent que l'hydrogène y est plus abondant que dans les roches terrestres. Première conclusion : pour pouvoir conserver autant d'hydrogène, Théia devait être plutôt de la masse de la Terre que de celle de Mars comme avancé jusque-là. En outre, la faible abondance de deutérium indique qu'elle devait être plus sèche que la proto-Terre,

GÉOSCIENCE

La Terre perd plus de chaleur d'un côté que de l'autre

Depuis près de 400 millions d'années, la Terre perd plus de chaleur d'un côté que de l'autre. C'est ce que révèlent des chercheurs de l'université d'Oslo (Norvège) qui montrent que les équilibres thermiques de notre planète sont fortement influencés par les variations spatiales et temporelles du flux thermique de surface. Selon leurs analyses, c'est du côté Pacifique que la planète a laissé échapper le plus de chaleur. Un déséquilibre que les chercheurs attribuent à la répartition des masses continentales. La perte inégale de chaleur serait ainsi une relique des supercontinents passés, quand toutes les masses terrestres ont été réunies d'un côté de la planète. H. J.

SOURCE : KRISTER KARLSEN, UNIVERSITÉ D'OSLO, NORVÈGE.



FRENCH & ROMANOWICZ, 2014

car l'eau qui se forme dans l'espace interstellaire est naturellement enrichie en cet isotope de l'hydrogène.

Théia aurait coulé dans le magma terrestre

Plus sèche, plus massive, Théia devait aussi être plus dense, selon les simulations de l'équipe, qui proposent de nouveaux détails au scénario de la collision : après l'impact, le noyau de Théia aurait rapidement fusionné avec celui de la Terre. Son manteau, qui devait être de 1,5 à 3,5 % plus dense que celui de la Terre, se serait morcelé. « *Il faut en effet que ces roches soient plus denses pour avoir été conservées au cours des temps géologiques. Mais nous n'avons pas encore de preuves de cette densité* », précise Barbara Romanowicz. Si cette hypothèse est vérifiée, les roches de Théia auraient alors coulé dans le manteau terrestre, qui était à cette époque un océan magmatique. Ensuite, c'est une question de dynamique, comme l'explique la géophysicienne, un aspect négligé par cette étude : « *La rotation de la Terre a dû avoir une influence lors de la mise en place de ces régions aux antipodes l'une de l'autre. Ce serait impossible maintenant, car la viscosité du manteau est trop forte. Mais par le passé, aux temps de l'océan magmatique, la viscosité était bien plus faible.* » Un impact aurait dû en effet injecter des morceaux du manteau de Théia dans un seul endroit du manteau. Mais celui-ci était alors un milieu fluide, par ailleurs soumis à une rotation. Les morceaux de Théia se sont donc distribués dans ce milieu et ont coulé jusqu'à la limite du noyau de fer. « *Ces deux grands cimetières des plaques de Théia se sont accumulés aux antipodes du noyau, ce qui leur a permis d'être stables au cours des temps géologiques.* » ■

Sylvie Rouat @srouat1

AURÉLIEN ALVAREZ

PAR AURÉLIEN ALVAREZ *

Le principe des tiroirs

Si vous possédez une commode avec dix tiroirs dans laquelle vous rangez un peu rapidement douze chaussettes, à coup sûr vous trouverez le lendemain deux chaussettes — pas forcément assorties — dans au moins l'un des tiroirs. Ce principe élémentaire, connu sous le nom de principe des tiroirs (ou « *pigeonhole principle* » dans le monde anglophone) est attribué au mathématicien allemand Johann Dirichlet qui l'énonça en 1834, même si d'autres l'utilisèrent sans doute avant lui. Il existe nombre d'applications amusantes de ce principe : à chaque fois, il suffit d'identifier les tiroirs et les chaussettes. Prenons l'exemple d'une ville comme Lyon : il est possible d'affirmer que deux habitants au moins ont le même nombre de cheveux. En effet, une personne a entre 0 (si elle est chauve) et environ 150 000 cheveux, et comme Lyon compte plus de 500 000 habitants, le principe des tiroirs permet de conclure. Autre exemple : lors d'une réception, on peut toujours trouver deux convives qui ont serré exactement le même nombre de mains pendant la soirée. Si n est le nombre de convives, chaque invité serre entre 0 et n-1 mains (0 signifie qu'il n'a serré la main de personne et n-1 à tous) : il y a donc n tiroirs possibles *a priori*. Or on se convainc facilement qu'il n'est pas possible qu'un convive prétende avoir salué tous les autres invités si dans le même temps un autre prétend n'avoir salué personne. Ainsi, au moins l'un des deux tiroirs « 0 main serrée » ou « n-1 mains serrées » est vide et il n'y a finalement que n-1 tiroirs possibles *a posteriori*. Comme il y a n personnes présentes, on est là encore dans la situation du principe de Dirichlet avec « plus de chaussettes que de tiroirs ». Depuis Dirichlet, d'autres versions plus raffinées du principe des tiroirs ont été développées et constituent autant d'outils simples et efficaces dans la boîte à outils des mathématiciens. ■

> « Chacun a entre 0 et 150 000 cheveux et comme Lyon compte plus de 500 000 habitants, le principe des tiroirs permet de conclure qu'au moins deux Lyonnais ont le même nombre de cheveux »

* Professeur à l'ENS de Lyon

Inonder les plaines pour sauver Paris

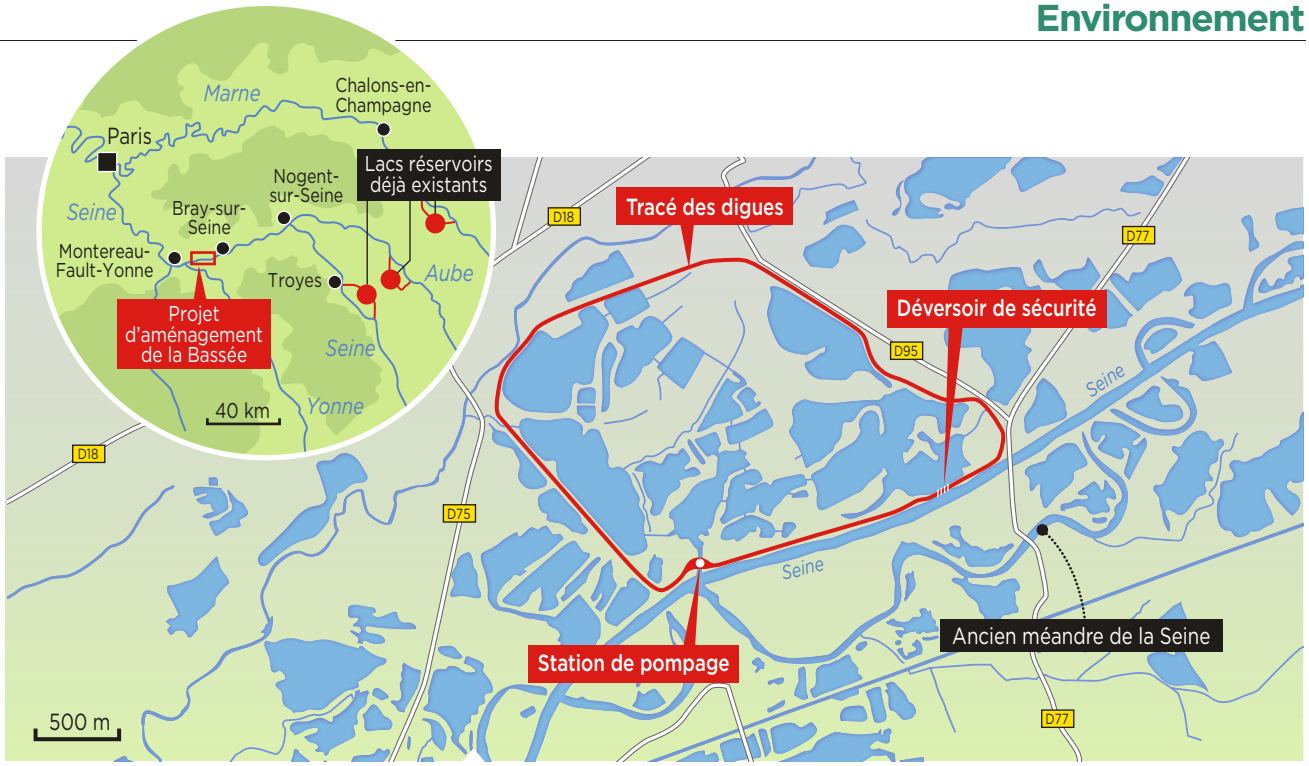
Un chantier de 360 hectares unique en Europe a débuté, à une centaine de kilomètres à l'est de Paris. Objectif de ce projet inédit : stocker l'eau de la Seine dans des retenues artificielles pour prévenir les crues dévastatrices dans la région parisienne.

Par Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

Quarante centimètres. Voilà le gain que promet un projet totalement inédit pour faire baisser le niveau de la Seine en plein Paris en cas de crue. Ajoutés aux 60 centimètres écrêtés par les grands lacs de Seine, c'est à hauteur d'un mètre que l'on pourra faire baisser le niveau de l'eau sur les quais de la capitale à l'horizon du milieu du XXIe siècle. Ce qui n'est pas rien : la dernière crue de 2018 à Paris a flirté avec les six mètres. Le coût est faramineux : 600 millions d'euros, pour un achèvement au-delà de 2040. Jamais en France, ni même en Europe, une telle entreprise n'avait été envisagée. Mais si les pouvoirs publics ont donné leur feu vert en 2020 c'est qu'avec la première tranche de travaux, estimée à 15,5 millions d'euros d'ici à 2024, les économistes travaillant pour le Programme d'action pour la prévention des inondations (Papi) estiment que, sur cinquante ans, une perte de biens en Île-de-France trois fois supérieure sera évitée. Surtout, le projet est en rupture totale avec le dogme en vigueur depuis le XIXe siècle pour réguler le cours de fleuves, à savoir la mise en place de barrages : l'heure est à la réalisation d'ouvrages plus respectueux de la nature, une notion qui sera au cœur des débats du prochain sommet mondial consacré à la biodi-

SEINE GRANDS LACS

La plaine alluviale de la Bassée où doivent être aménagés des « casiers » pour recevoir les eaux des crues (dont un tracé a été superposé sur la photo) constitue la zone humide la plus importante d'Île-de-France.



BRUNO BOURGEOIS

Le premier casier de retenue sera cerné par 7,8 km de digues pour stocker 10 millions de mètres cubes d'eau de la Seine. Neuf casiers au total sont prévus soit 58 km de digues (2 300 ha de surface de stockage).

versité *(lire l'encadré p. 48)*.
Ce projet, c'est celui de la Bassée, une plaine alluviale à seulement une centaine de kilomètres à l'est de la capitale. Quand on s'y rend, on se croirait au Canada. Une succession de petits lacs cernés par des couronnes de saules, peupliers et cornouillers donne au site un faux air de Grand Nord. Et c'est bien d'un décor dont il s'agit. Car rien ici n'est authentiquement naturel. Les lacs sont d'anciennes carrières de graviers inondées par la nappe alluviale de la Seine, toute proche, dont les bords plongent à pic vers le fond. Le fleuve, lui, file tout droit sans se soucier de ses rives, creusé, endigué, corseté. « *Tout ici est du fait de l'homme* », grommelle Grégoire Isidore, directeur de la Bassée et de l'hydrologie à l'Établissement public terri-

AMÉNAGEMENT

Des problématiques propres à chaque fleuve français

La Garonne

Elle fait principalement face à un problème de disponibilité de l'eau. Peu utilisé pour la navigation, le fleuve est très aménagé dans sa partie amont pour la production d'électricité. Les prélèvements pour l'agriculture, l'industrie et l'eau potable augmentent fortement : ils ont dépassé les 40 millions de mètres cubes en 2020 contre une moyenne de 30 millions lors de la dernière décennie.

Le Rhône

Il a été calibré et son cours rectifié dès le XIXe siècle. De 1980 à 1986, la construction de quatre usines hydrauliques a achevé l'artificialisation du fleuve, dont la principale fonction aujourd'hui est la production d'électricité et le refroidissement des centrales nucléaires. Des « débits réservés » alimentent le lit naturel du fleuve pour préserver les zones humides.

Le Rhin

Il a vu son lit corrigé au milieu du XXe siècle. Le fleuve international est désormais un axe économique majeur qui a perdu tout fonctionnement naturel. Une autoroute navigable barrée par des écluses, ponctuée par des ports de commerce, par laquelle transitent chaque année 320 millions de tonnes de marchandises. Il permet aussi de produire de l'hydroélectricité et de refroidir des centrales nucléaires.

La Loire

Le plus long fleuve de France n'a jamais été canalisé mais a cependant subi des aménagements avec des barrages en amont sur son cours et celui de ses affluents. Sa plaine alluviale est entourée de « levées » destinées à lutter contre les inondations et à améliorer la navigabilité. Le plan « Loire grandeur nature » vise aujourd'hui au renforcement de ces digues tout en restaurant les écosystèmes des zones humides du lit majeur du fleuve.

torial de bassin (EPTB), l'organisme qui gère le bassin-versant amont de la Seine et de ses principaux affluents (l'Aube, l'Yonne, le Loing et la Marne). Grégoire Isidore prépare le nouveau chapitre de l'histoire de ce lieu torturé. En ce début d'année, les premiers engins de chantier enterrent les lignes électriques, tandis que le débroussaillage et l'abattage des arbres commencent.

L'équivalent de 4000 piscines olympiques

Les géomètres calculent les courbes de niveaux, les excavatrices et niveleuses se préparent à remodeler le paysage. Le chantier consiste à réaliser le premier « casier de la Bassée ». En clair, le premier site de stockage d'eau de la Seine destiné à être rempli pour réduire les zones inondées dans la capitale. Sa surface : 360 hectares, cernés de 7,8 kilomètres de digues hautes de 4 mètres qui stockeront 10 millions de mètres cubes soit l'équivalent de 4000 piscines olympiques. *« L'idée est de détourner une partie de la crue de la Seine en les pompant vers ces aires de stockage afin que ces eaux ne se mêlent pas avec celles du bassin de l'Yonne dont la confluence se situe plus bas, multipliant ainsi les risques d'inondations de la région parisienne »*, détaille Grégoire Isidore. En cas de crue de l'Yonne, détectée grâce à une station de mesure située à Gurgy près d'Auxerre, les gestionnaires auront de 24 à 48 heures pour activer des pompes qui rempliront le casier. *« Pendant quelques jours dans cette zone, on ne verra que la cime des arbres »*, prévient la chargée d'environnement du projet Aurélie Paindavoine. Ce premier « casier » est amené à être complété. Ainsi, quand le projet sera terminé, ils seront neuf au total, entourés de 58 kilomètres de digues, représentant 2300 hectares de stockage soit 53 millions de mètres cubes d'eau retenus. D'après les prévisions, la Bassée sera ennoyée 11 jours tous les six ans.

Cette solution pour sauver la capitale française et sa région d'une crue dévastatrice, l'EPTB l'étudie depuis trente ans. Mais, en réalité, l'histoire remonte à plus loin encore. La Seine est devenue un fleuve industriel dès le milieu du XIXe siècle avec la rectification de ses méandres en aval de Paris. La grande crue de 1910 a ensuite incité les pouvoirs publics à réguler le débit du fleuve en créant cinq grands lacs de retenue en amont de la Seine, de la Marne, de l'Yonne et de l'Aube. Ce sont eux qui permettent déjà d'écrêter les pointes de crues de 60 centimètres à Paris. Le premier a été inauguré en 1949, le dernier en 1990. En 1970, le cours de la Seine amont est rectifié à partir de Paris pour la rendre navigable jusqu'à Bray-sur-Seine (Seine-et-Marne). Les méandres sont coupés du lit mineur (où le fleuve s'écoule en temps normal). La plaine inondable devient alors un site d'extraction de granulat, de sable et de gravier pour la construction. Des carrières aujourd'hui pour

OBJECTIFS

Cop15 : sauver la biodiversité

Initialement prévue en mai à Kunming (Chine), la Cop15 vient d'être reportée au mois d'octobre. Les 195 États signataires de la convention sur la biodiversité doivent s'y donner pour objectif commun de stopper la destruction des milieux naturels et la disparition des espèces animales et végétales d'ici à 2030. Les « solutions basées sur la nature » font partie des outils proposés par l'ONU. Plutôt que de contraindre fleuves, sols et reliefs, il s'agit d'utiliser au mieux les services rendus par la nature : épuration des eaux, lutte contre les inondations, régulation des pathogènes et ravageurs des cultures, restauration de la fertilité des sols. Parmi les autres outils proposés figurent l'agroécologie, l'économie des matières premières et le recyclage, l'arrêt de l'artificialisation des terres.

ETPBGRANDSLACS

La première station de pompage va être construite sur la commune de Gravon (Seine-et-Marne). En cas de montée des eaux trop importante, elle déversera l'eau de la Seine dans le casier pilote de la Bassée (modélisation 3D).

la plupart abandonnées, qui ont donné naissance aux lacs de la Bassée. L'utilisation de ces zones pour lutter contre les crues est envisagée dès les années 1990. Mieux : cette solution apparaît comme un moyen de réhabiliter l'écologie des lieux. Quoi de plus naturel que de laisser un fleuve s'étendre plutôt que de le contenir dans de gros aménagements tels que des lacs ou des lits creusés pour la navigation ?

Pour l'EPTB, pas de doute possible : la Bassée est une solution écologique qui tranche avec les grands barrages de Seine. D'autant que le projet prévoit une rectification des digues pour favoriser la diversification de la flore, des zones de nidification pour oiseaux, et le développement de sites pour favoriser l'installation d'espèces protégées, comme le muscardin, un petit rongeur. Mais il ne fait pas consensus. Comment qualifier de « solution basée sur la nature », un projet qui consiste à mettre en œuvre de puissantes pompes pour retirer l'eau en excès de la Seine ?

Des solutions reposant sur la nature plus contraignantes

C'est la question posée par l'organisation environnementale France nature environnement (FNE) qui a présenté un contre-projet lors de l'enquête d'utilité publique à l'été 2020. « *Une solution basée sur la nature consisterait à réellement retrouver le fonctionnement de celle-ci avant l'intervention de l'homme* », lance Bernard Bruneau, correspondant de FNE en Seine-et-Marne. En clair : reconstituer les zones naturelles d'expansion des crues. La FNE a proposé des digues plus longues (115 km) mais plus basses (1,50 m) qui ne seraient plus destinées qu'à protéger routes et villages. Conséquence : ce ne seraient pas 2300 mais 11 400 hectares qui seraient destinés à être inondés. Techniquement faisable car « *il existe déjà des barrages amovibles destinés à maintenir la navigabilité du fleuve qui pourraient être adaptés à un rôle de détournement des flots vers les espaces destinés à l'expansion de la crue* », précise Michel Poulin, chercheur à Mines ParisTech et l'un des auteurs du projet. Une méthode plus douce car sans pompage qui permettrait de détourner presque autant d'eau et, de plus, de la restituer plus lentement. « *C'est le seul vrai moyen de retrouver un fonctionnement naturel tel que celui qui a été préservé sur la Loire* », assure Michel Poulin. Mais cela nécessiterait une implication plus importante des populations riveraines puisque davantage d'espaces seraient touchés. De plus, au contraire des pompes dont l'action est contrôlée, l'épanchement naturel des eaux serait aléatoire. Ce qui a conduit l'ETPB à écarter le projet. Bien qu'il ne se réalisera pas, il jette néanmoins une lumière sur ce à quoi devraient ressembler ces « solutions basées sur la nature ». Des solutions qui imposeront de s'adapter à un fonctionnement naturel, au prix de certains sacrifices. Donc un choix sociétal autant qu'écologique. ■

N. DION/ARCHIVES NATIONALES

« Une méthode sans pompage serait le seul vrai moyen de retrouver un fonctionnement naturel tel que celui qui a été préservé sur la Loire »

Michel Poulin, chercheur à Mines Paristech et coauteur d'un contre-projet présenté par France Nature Environnement

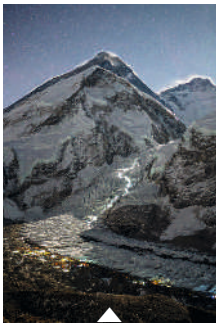
Sur l'Everest, le plus haut laboratoire scientifique au monde

Une expédition composée de géologues, météorologues, géographes a gravi le plus haut sommet au monde afin d'étudier la fonte des glaces causée par le changement climatique.

Le ciel est noir d'encre, le vent glacial, lorsque Khim Lal Gautam pose son pied au sommet de l'Everest, le 22 mai 2019, à 3 heures du matin. C'est la deuxième ascension du plus haut sommet du monde pour le géomètre népalais. Mais cette fois, l'exploit est chargé d'ambitions scientifiques et politiques : le Népal veut mesurer le toit du monde depuis son versant sud — l'Everest étant à cheval sur la frontière sino-népalaise. Les scientifiques ont décidé cette ascension nocturne afin de ne pas être dérangés par d'autres grimpeurs. 40 kg d'instruments ont été hissés à dos d'homme. Les quatre chercheurs vont survivre près de deux heures dans la « zone de la mort » — au-delà de 8000 mètres — baptisée ainsi en raison de la raréfaction de l'oxygène, qui peut être létale. Ils vont y enregistrer des données radar et de géolocalisation afin de déterminer avec une précision inédite la hauteur du toit du monde. Une expérience à haut risque : Khim Lal Gautam y perdra un orteil, définitivement gelé, et l'un de ses compagnons, à court d'oxygène, frôlera la mort.

L'Everest — connu sous le nom de Sagarmatha au Népal et de Chomo Lungma au Tibet — est considéré comme le plus haut sommet du monde depuis 170 ans grâce aux méthodes développées par le Britannique George Everest. Son altitude est établie depuis les années 1950 à 8848 mètres. Mais certains scientifiques pensaient que le puissant tremblement de terre de 2015 avait pu raboter la montagne. Pour trancher le débat, les Népalais ont monté cette mission sur deux ans *(lire l'encadré p. 52)*. Entre-temps, l'affaire avait pris une tournure politique, la Chine, dont l'influence au Népal se compte en centaines de millions d'euros d'aides, ayant convaincu le gouvernement népalais d'annoncer de manière conjointe la nouvelle hauteur de l'Everest après une expédition chinoise côté tibétain. Le 27 mai 2020, sur un versant déserté pour cause de pandémie, huit chercheurs chinois ont donc passé près de trois heures au sommet pour enregistrer leurs propres mesures. À l'issue de ce marathon diplomatico-scientifique, la nouvelle altitude de l'Everest a été officiellement annoncée le 8 décembre 2020 : 8848,86 mètres. Soit un léger gain de 86 cm.

Hasard du calendrier, en avril 2019, quelques jours avant les scientifiques népalais, une équipe internationale de 34 chercheurs posait ses bagages pour deux mois au camp de base de la face sud de l'Everest. Cette expédition, financée par le magazine américain *National Geographic* et l'horloger Rolex, avait pour objectif de faire du « troisième pôle terrestre » le plus grand laboratoire du monde du changement climatique.



ERIC DAFT/NATIONALGEOGRAPHIC.ORG

Le camp de base de la face sud de l'Everest, où se sont installés les 34 membres de l'expédition, au pied de la cascade de glace Khumbu.

100 m d'épaisseur de glace ont disparu en 60 ans

L'enjeu est crucial : l'approvisionnement en eau de 1,65 milliard de personnes dépend du système himalayen. Or, du fait du réchauffement planétaire, les glaciers reculent, exposant dans un premier temps des millions de personnes à des inondations et glissements de terrain et, à plus long terme, à des pénuries d'eau. Une étude dirigée par Owen King, de l'université de Saint Andrews (Royaume-Uni), à partir de 56 ans d'archives satellitaires de la montagne et des glaciers qui l'entourent, a révélé que plus de 100 mètres d'épaisseur de glace avaient disparu depuis les

OROGENÈSE

La montagne rajeunit

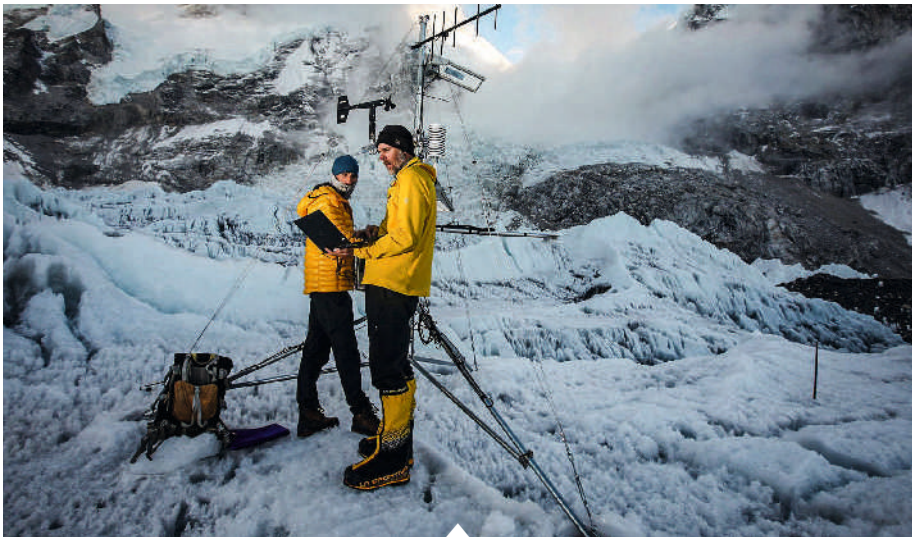
Né de la collision entre les plaques tectoniques indo-australienne et eurasienne, l'Everest, qui croît d'un demi-centimètre par an, était jadis sous l'eau. Quand ? L'analyse de sols fossiles réalisée par l'Académie des sciences chinoise remet en question la date couramment admise de -40 millions d'années, celle de la naissance du plateau tibétain. Ses conclusions montrent que l'Everest aurait commencé à s'élever plus récemment, il y a entre 10 à 20 millions d'années.

BAKER PERRY/NATIONAL GEOGRAPHIC.ORG

Les chercheurs et les sherpas atteignent le balcon, une petite plate-forme située à 8400 m d'altitude.

DIRK COLLINS/NATIONALGEOGRAPHIC.ORG

Un carottage dans la glace sur 10 m de profondeur va permettre de retracer l'évolution climatique de la région.



FREDDIE WILKINSON/NATIONALGEOGRAPHIC.ORG

Une station météorologique automatisée est installée à quelque 8412 m d'altitude, la plus haute du monde.

années 1960 ! Et le processus de fonte, qui ne cesse de s'accélérer, menace de relâcher les polluants d'origine humaine piégés par les glaciers, menaçant la santé des populations en aval.

Les géologues, météorologues, géographes et autres spécialistes qui composaient l'expédition étaient chacun porteur d'un projet de recherche, destiné à éclairer le passé, le présent et le futur de l'Everest. Son passé est par exemple archivé dans les carottes de glace et de sédiments lacustres. Les premières renferment des bulles d'air piégées qui permettent de reconstituer la composition de l'atmosphère à l'époque où la glace s'est formée et donc de retracer l'évolution climatique de la région. C'est à Mariusz Potocki, doctorant de l'université du Maine (États-Unis), qu'incombait la tâche de collecter les carottes de glace à diverses hauteurs. Et notamment la plus haute carotte de glace du monde, à 8020 mètres d'altitude !

Des microplastiques dans la neige et dans l'eau

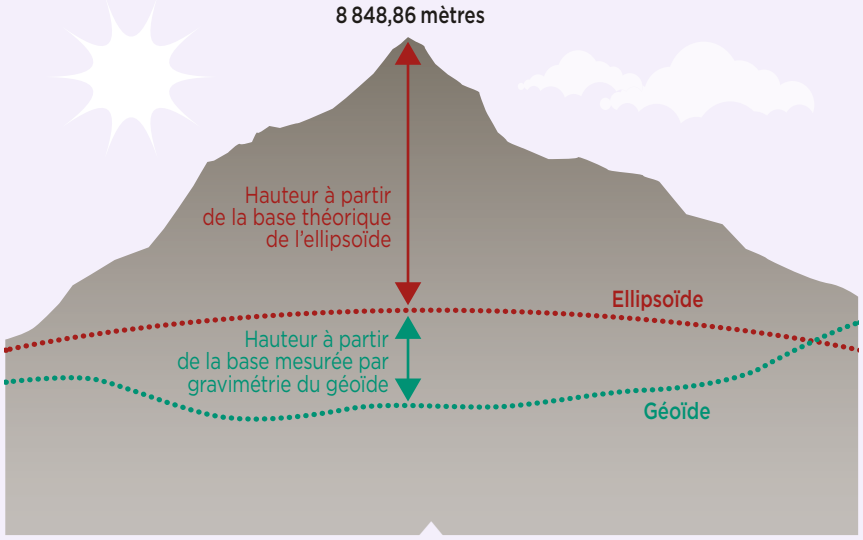
Les sédiments lacustres sont, quant à eux, formés par l'accumulation de particules arrachées aux flancs de montagne par l'érosion ainsi que de particules organiques produites au sein du lac. Ils renferment aussi des fossiles, des pigments d'algues, des pollens et quantité de gènes dont l'analyse permettra de reconstituer l'évolution de la faune et de la flore sur les flancs de l'Everest et dans les lacs. Les deux carottes de sédiments prélevées dans la vallée de Gokyo montrent déjà une modification des espèces d'arbres présentes. *« Un résultat compatible avec le réchauffement climatique »*, estime Paul Mayewski, directeur de l'Institut du changement climatique de l'université du Maine, à l'origine de l'expédition

Le présent, lui, s'est imposé aux chercheurs dès le camp de base,

GÉODÉSIE

Mesurer une montagne, une entreprise difficile

Les données enregistrées au sommet de l'Everest par les chercheurs népalais en 2019 n'ont pas permis d'établir immédiatement son altitude précise. En réalité, il a fallu 80 personnes et 1,3 million de dollars pour obtenir le résultat ! Deux méthodes ont été nécessaires. La technique ancienne de la triangulation permet de déterminer une hauteur en mesurant les angles entre un sommet et différents lieux à sa base. Ce calcul a servi de référence à une méthode plus novatrice. Les instruments déployés au sommet de l'Everest ne permettaient pas en effet de déterminer précisément le niveau de la mer, soit la base de calcul des hauteurs géographiques. Car la Terre n'est pas un globe lisse (ellipsoïde), mais une sorte de « patate » irrégulière — un géoïde. Pour déduire la forme de celui-ci sous l'Everest — et donc le « niveau de la mer » de référence —, les chercheurs ont sillonné le Népal pour mesurer la gravité de surface en 297 endroits différents à l'aide d'un gravimètre. Toutefois, si l'on prend comme référence le centre de la Terre, le volcan équatorien Chimborazo (6384 m) détrône l'Everest (6382 m).



BRUNO BOURGEOIS

La nouvelle altitude de l'Everest, 8848,86 m, a été calculée en utilisant le géoïde (la forme réelle du globe à cet endroit) et pas seulement l'ellipsoïde (la forme théorique de la Terre). Les 86 centimètres supplémentaires découlent de cette technique de mesure.

connu comme *« plus haute décharge du monde »*, les alpinistes y abandonnant déchets et matériels. Plus surprenant : l'analyse des échantillons de neige et d'eau prélevés le long du chemin de grimpe a montré la présence constante de microplastiques de 4400 à 8440 mètres d'altitude. Ces fibres de polyester, acrylique, Nylon et polypropylène proviennent essentiellement des vêtements techniques et des équipements de montagne (cordes, tentes, etc.), selon la biologiste Imogen Napper, de l'université de Plymouth (Royaume-Uni).

L'un des objectifs principaux de l'expédition était d'établir un « état zéro » de l'Everest. Pour cela, les chercheurs ont engrangé des images de haute résolution à l'aide d'un drone et cartographié les reliefs avec un laser embarqué sur un hélicoptère jusqu'à 7000 mètres. Ils ont aussi recensé la flore et la faune, ce qui permettra de les comparer avec les fossiles identifiés dans les sédiments et d'évaluer à l'avenir les migrations des espèces. Enfin, un réseau de cinq stations météo automatiques a été déployé à diverses altitudes. Dont celle qui est désormais la plus haute du monde, à quelque 8412 mètres. Pour Baker Perry, géographe à l'université des Appalaches (États-Unis), son installation restera l'un des meilleurs souvenirs d'expédition. *« Mais pour cela, nous avons eu à surmonter de nombreux défis*, raconte-t-il. *L'altitude bien sûr, la météo difficile et les embouteillages de grimpeurs. Auparavant, il avait fallu relever le défi technique de concevoir une station météorologique suffisamment légère pour être transportée à dos d'homme, et assez solide pour résister à cet environnement extrême. »* Les premiers résultats montrent *« que le rayonnement solaire entrant est exceptionnellement fort aux plus hautes altitudes de l'Everest et que la fonte peut se produire même avec des températures situées bien en dessous de zéro »*, révèle Baker Perry. L'analyse des résultats ne fait que commencer... ■ **Sylvie Rouat** @srouat1

NATIONAL GEOGRAPHIC.ORG COURTESY

« Les premiers résultats montrent que la fonte peut se produire même avec des températures bien en dessous de 0 °C »

Baker Perry, climatologue à l'université d'État des Appalaches, à Boone, aux États-Unis

FABRIQUÉ EN FRANCE

CULTIVEZ VOS AROMATES FRAIS TOUTE L'ANNÉE **SANS EFFORT !**

Véritable® invite les aromates frais au cœur de votre cuisine pour des expériences culinaires uniques. Dotés d'un éclairage LED horticole haute performance et d'un système d'irrigation automatique, nos potagers autonomes assurent des récoltes régulières et abondantes sans aucun effort.

2 LINGOTS® OFFERTS*

avec le code :
LINGOTSA890

Véritable®

www.veritable-potager.com

*Offre valable du 22/04/2021 au 30/06/2021 pour toute commande d'un potager Véritable® ou Exky® sur www.veritable-potager.com en saisissant le code LINGOTSA890. Limité à une offre par client. Non fractionnable, non échangeable, non remboursable.

La high-tech au secours du kakapo

En Nouvelle-Zélande, l'extinction du seul perroquet au monde incapable de voler a été évitée de justesse grâce à un programme de conservation de haute technologie.

LES PLUS GROS PERROQUETS au monde, les kakapos, bénéficient d'un programme de sauvetage le plus high-tech qui soit. Ces oiseaux endémiques de la Nouvelle-Zélande, qui ont failli disparaître dans les années 1990 avec alors un reliquat de 51 individus, sont désormais 205. Et ce n'est qu'un début. Le programme de conservation unique, mené par différents laboratoires du Kakapo Recovery Program disséminés sur des îles du sud de Nouvelle-Zélande, consiste à littéralement assister les oiseaux dans leurs amours. Dans le choix des partenaires en premier lieu. Pour cela, les scientifiques ont procédé à un séquençage génétique généralisé afin de réduire les risques de consanguinité. Ils suivent désormais les déplacements des volatiles grâce à des *trackers* radio installés sur leur dos, et vont parfois jusqu'à utiliser des drones pour véhiculer le sperme et procéder à des inséminations sur le terrain !

Ensuite, pour réduire la mortalité des petits, les scientifiques n'hésitent pas à subtiliser des œufs pour les faire éclore en laboratoire. Et pour éviter que les femelles n'abandonnent le nid à cette occasion, ils les remplacent par des œufs factices « intelligents », dotés d'une batterie et d'un haut-parleur émettant la même vibration que les œufs sur le point d'éclore. « *Nous avons obtenu un modèle numérique 3D d'un véritable œuf de kakapo scanné par les ateliers Weta, ceux qui ont réalisé les effets spéciaux pour le* Seigneur des anneaux, raconte Andrew Digby, responsable du programme. *Les composants électriques sont ensuite insérés dans une impression 3D de l'œuf. Nous renvoyons les poussins au nid lorsqu'ils sont âgés d'un à deux jours, après nous être assurés de leur bonne santé* », résume Andrew Digby.

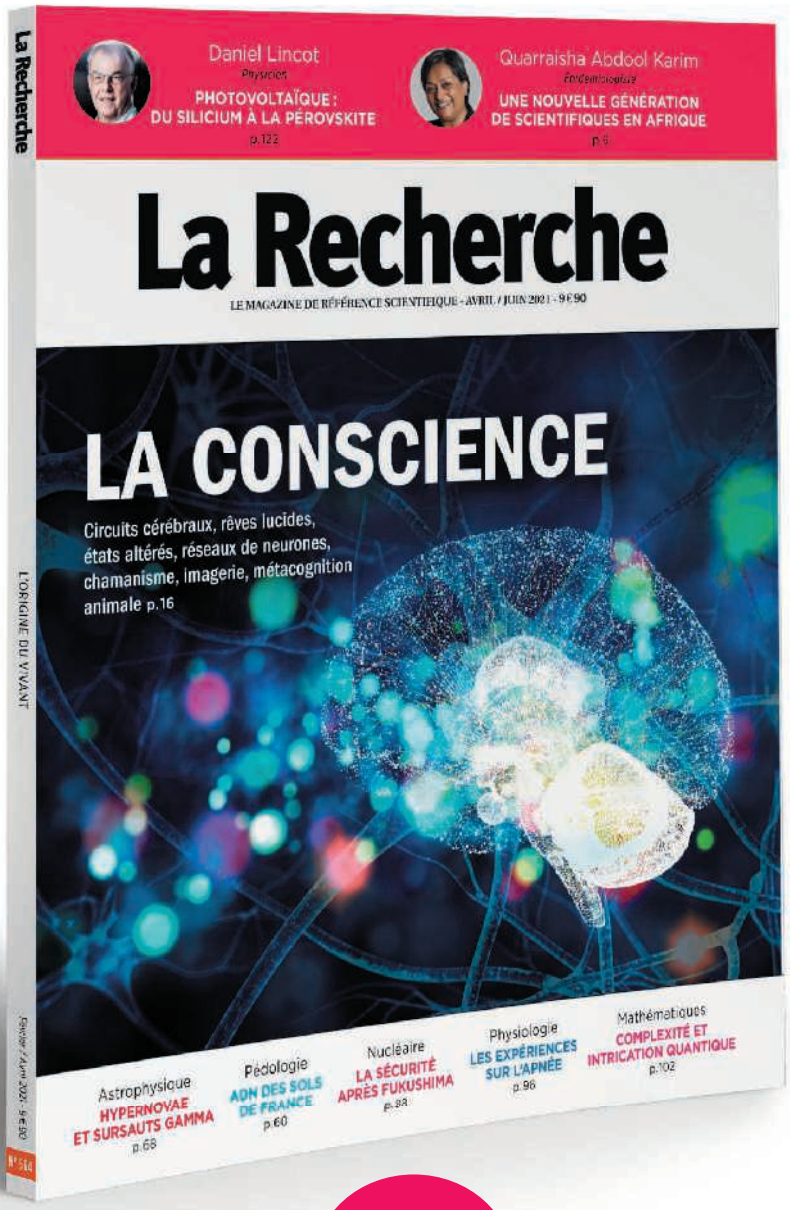
PHOTOS : ANDREW DIGBY

Un drone permet de transporter le sperme recueilli sur le mâle jusqu'à la femelle à féconder.

Cet œuf factice, bourré d'électronique, émet la même vibration qu'un véritable œuf de kakapo sur le point d'éclore.

Un taux de mortalité en baisse de 70 %

Un test sur une dizaine de nids lors de la dernière saison de reproduction a permis de faire baisser la mortalité de 70 % ! Et les femelles kakapo, nullement perturbées par l'arrivée de « gros » poussins dans leur nid, s'en sont occupées sans rechigner. La méthode sera étendue à plus d'une vingtaine de nids en 2022. « *En janvier, aura lieu la prochaine saison des amours, celle de la reproduction suivra en mars,* explique Andrew Digby. *Cet événement sera crucial, car il n'a lieu que tous les deux à trois ans, en même temps que fleurissent certains arbres, comme le rimu* (Dacrydium cupressinum), *dont les fruits sont prisés par les mères comme par les oisillons.* » En attendant, les scientifiques terminent de mettre au point des trémies intelligentes, sorte de pyramides inversées bardées de capteurs, destinées à être enfouies à proximité des nids. Elles leur permettront de surveiller les conditions environnementales et le moindre mouvement à proximité des sites de reproduction. **Rachel Mulot** @RachelFleaux



NOUVELLE FORMULE

148 pages
MAGAZINE-LIVRE
Trimestriel

Chez votre marchand de journaux et chez votre libraire

La Recherche

LE MAGAZINE DE RÉFÉRENCE SCIENTIFIQUE

LES 33 SCIENTIFIQUES QUI ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO

Quarraisha Abdool Karim, *épidémiologiste,* directrice scientifique associée, Caprisa, Afrique du Sud

Larissa Albantakis, *neuroscientifique,* chercheuse, université du Wisconsin à Madison, États-Unis

Thomas Andrillon, *neuroscientifique,* chercheur, Institut du cerveau, Paris

Jitka Annen, *neuroscientifique,* chercheuse post-doctorante, université de Liège, Belgique

Sarah Antier, *astrophysicienne,* chercheuse post-doctorante, laboratoire astroparticule et cosmologie, Paris

Michel Bitbol, *philosophe,* directeur de recherche émérite, Archives Husserl, Paris

Florence Burgat, *philosophe,* directrice de recherche, Institut national de recherche pour l'agriculture, Paris

Ludovic Calandreau, *éthologue,* directeur de recherche, Institut national de recherche pour l'agriculture, Tours

Emma Chabani, *neuroscientifique,* chercheuse post-doctorante, hôpital Pitié-Salpêtrière, Paris

Chloé Clavel, *informaticienne,* professeure, Télécom Paris

Axel Cleeremans, *psychologue,* professeur, université libre de Bruxelles, Belgique

Marie Dégremont, *politologue,* chercheuse, Institut d'études politiques, Paris

Jean-Gabriel Ganascia, *informaticien,* professeur, Sorbonne Université, Paris

Christian Gouiffès, *astrophysicien,* chercheur, Commissariat à l'énergie atomique, Saclay

Franck Guarnieri, *spécialiste des sciences de l'ingénierie,* directeur, Centre de recherche sur les risques et les crises, Mines Paris-PSL

Jérôme Guilet, *astrophysicien,* chercheur, Commissariat à l'énergie atomique, Saclay

Sabine Konzmann, *écologue,* doctorante, université Heinrich-Heine de Düsseldorf, Allemagne

Victor Lamme, *neuroscientifique,* professeur, université d'Amsterdam, Pays-Bas

Léa Lansade, *éthologue,* chercheuse, Institut national de recherche pour l'agriculture, Tours

Roland Lehoucq, *astrophysicien,* chercheur, Commissariat à l'énergie atomique, Saclay

Frédéric Lemaître, *physiologiste,* enseignant-chercheur, université de Rouen

Daniel Lincot, *physicien,* directeur de recherche CNRS

Michel Mitov, *physicien,* directeur de recherche CNRS, Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales, Toulouse

Robert Mochkovitch, *astrophysicien,* directeur de recherche CNRS, Institut d'astrophysique, Paris

Alysson Muotri, *neuroscientifique,* professeur, université de Californie à San Diego, États-Unis

Laurent Perrinet, *neuroscientifique,* chercheur, Institut de neurosciences de la Timone, Marseille

Aurélien Portelli, *historien,* enseignant-chercheur, Centre de recherche sur les risques et les crises, Mines Paris-PSL

Lionel Ranjard, *écologue,* directeur de recherche, Institut national de recherche pour l'agriculture, Dijon

Raphaël Raynaud, *astrophysicien,* chercheur, Commissariat à l'énergie atomique, Saclay

Claire Sergent, *neuroscientifique,* professeure, Centre de neurosciences intégratives et cognition, Paris

Charles Stépanoff, *ethnologue,* directeur d'études, école des hautes études en sciences sociales, Paris

Thomas Vidick, *mathématicien,* professeur, Institut de technologie de Californie, États-Unis

Petra Wester, *écologue,* chercheuse, université Heinrich-Heine de Düsseldorf, Allemagne

PAR CHRISTOPHE CASSOU*

52 jours dans les mers du Sud

Les sciences du climat n'ont pas échappé à la révolution numérique. Modèles et simulations sont désormais des outils incontournables pour comprendre les origines des fluctuations climatiques passées et évaluer le champ des futurs possibles. Mais que serait la modélisation climatique sans mesures *in situ* ? Pas grand-chose. Les observations permettent de mieux comprendre les processus physiques et biogéochimiques qui pilotent le système climatique (par exemple le cycle du carbone) mais aussi de « phaser » les modèles avec la réalité de l'instant présent ; elles sont indispensables.
Je viens ainsi de passer 52 jours en mer, dans le cadre de la campagne oceanographique Swings, à bord du navire d'exploration scientifique *Marion-Dufresne* à sillonner l'océan Austral, le plus grand désert d'observation du monde. Les watts par mètre carré des flux d'énergies échangés entre les mers du Sud et l'atmosphère simulés par les modèles de climat sont devenus une chaleur perceptible. Les newtons par mètre carré que le vent exerce sur la surface océanique dans mon laboratoire numérique se sont transformés en houle de 15 à 18 mètres et m'ont impressionné. La pénétration dans l'océan profond du CO_2 d'origine anthropique est passée d'un constat virtuel à une mesure palpable grâce aux échantillons d'eau de mer recueillis à plusieurs centaines de mètres de profondeur ; l'océan pompe notre carbone. Devenir observateur d'un jour est un privilège pour un modélisateur car ce moment permet de développer un regard critique sur son propre objet d'étude et d'évaluer la complémentarité des approches, leurs forces et leurs incertitudes respectives. Au-delà de ces considérations « académiques », l'expérience humaine à bord d'un navire, l'intensité des moments vécus face aux éléments déchaînés ou à des paysages d'une rare beauté sont les trésors d'un métier passion et s'accompagnent inévitablement d'une réflexion intime sur notre condition humaine, à la fois individuelle et collective. ■

> « La pénétration dans l'océan profond du CO_2 d'origine anthropique est passée d'un constat virtuel à une mesure palpable »

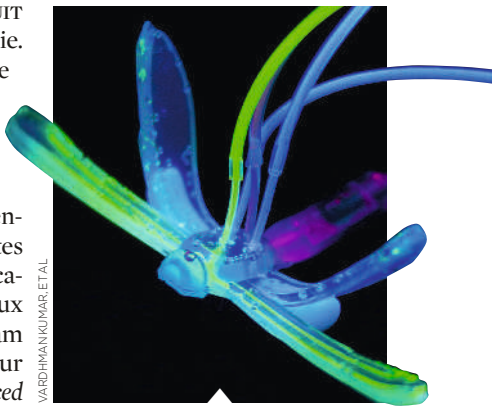
*Directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 1.

UNIVERSCIENCE

Ce robot mou est une vigie de l'environnement

Pour voler comme une libellule, le DraBot est équipé de petits tuyaux externes qui injectent de l'air comprimé dans ses conduits internes.

C'EST UN ROBOT SANS CIRCUIT ÉLECTRONIQUE ni batterie. Pourtant, il est capable de voler et de détecter les perturbations d'un milieu aquatique. Inspiré de la libellule, le DraBot a en effet été conçu pour être une vigie mobile de l'environnement par des spécialistes en génie biomédical, génie mécanique et sciences des matériaux de l'université Duke, à Durham (États-Unis) qui décrivent leur robot mou dans la revue *Advanced Intelligent Systems*.
De l'insecte aquatique, il emprunte la morphologie, avec un corps de 5,7 cm et quatre ailes d'une envergure de 3,55 cm. La structure est faite d'un élastomère de silicone avec, à l'intérieur, un réseau de conduits en polymère, le tout recouvert d'une membrane Ecoflex hydrophobe.



VARDHMAN KUMAR, ET AL

Comme l'insecte dont il s'inspire, le petit robot est capable de voler en effleurant la surface d'eau.

La vitesse dépend de la pression de l'air

Pour voler comme une libellule, le DraBot est équipé de petits tuyaux externes qui injectent de l'air comprimé dans ses conduits internes. Le système gonfle et dégonfle de petits ballons placés à la base des ailes, provoquant les battements de celles-ci. La propulsion, elle, est assurée par de l'air envoyé au niveau des ailes antérieures puis expulsé à l'arrière du robot. La vitesse dépend donc de la pression de l'air.
Comme la libellule, le petit robot est capable d'effleurer la surface de l'eau en plein vol. Or, les chercheurs ont rendu l'engin réactif au pH en injectant un hydrogel spécial dans des rainures traversant les deux ailes. De sorte qu'au contact d'une eau trop acide, les ailes se soudent l'une à l'autre et le Drabot ne peut plus voler en ligne droite, il se met à tourner en rond. Les ailes se dessoudent dans une eau redevenue neutre.
Autre caractéristique intéressante pour la surveillance des environnements : la couleur du robot passe du rouge au jaune quand la température de l'eau augmente. Enfin, les micropores hydrophobes placés sous les ailes et l'abdomen permettent d'absorber des huiles éventuellement présentes à la surface de l'eau. Ainsi, le DraBot donne visuellement et en temps réel des informations sur l'état de l'eau, grâce à son comportement. ■

Arnaud Devillard @A_Devila

DEMANDEZ
LE
PROGRAMME
David Abiker
18h00-19h00
NOUVELLE
ÉMISSION
RADIO
CLASSIQUE
et votre journée devient plus belle.

Le constructeur californien Tesla s'est lancé dans la course à la puissance en développant des superchargeurs capables de délivrer 250 kW permettant de charger la batterie en 20 minutes.

TESLA

5 questions pour comprendre la voiture électrique de demain

Au cœur des nouvelles mobilités « propres », elle a encore de nombreux défis à relever avant de pouvoir espérer remplacer les modèles thermiques.

1 Batteries : quels progrès attendre en matière d'autonomie ?

Entre 2005 et 2018, les dépôts de brevets relatifs aux batteries ont augmenté quatre fois plus vite que pour l'ensemble des autres domaines, selon l'Office européen des brevets. Enjeu crucial : l'autonomie, qui reste leur principal point faible. Et pourtant, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives estime que depuis l'arrivée des batteries lithium-ion début 1990, leur densité énergétique a été multipliée par 2,5 pour atteindre 250 Wh/kg (wattheure par kilogramme). Il existe encore une marge de progrès pour atteindre les 300 Wh/kg, valeur qui, selon le groupe français Safran, changerait la donne, en permettant aux petites voitures électriques de rivaliser en autonomie avec les thermiques. Mais faut-il l'attendre d'ici à deux ans ? Dix ans ? Mystère. Les constructeurs travaillent également sur le BMS (Battery Management System), le calculateur qui pilote le fonctionnement de la batterie, optimisant ses performances (son autonomie) et sa durée de vie.

Lithium-silicium, lithium-soufre, électrolytes solides, graphène, super-condensateurs… les pistes pour l'après-lithium-ion sont nombreuses. D'après Saft, fabricant français, deux technologies se distinguent. La lithium-soufre, avec des densités énergétiques quatre fois supérieures ; et la batterie solide, qui combine un rapport puissance/poids élevé et un haut niveau de sécurité. À ces considérations techniques s'ajoute celle du prix : sur une Renault Zoe, la batterie est facturée 8100 euros soit 25 % du prix de la voiture ! Mais économies d'échelle et progrès techniques lèvent progressivement ce frein. Bloomberg estime ainsi que le prix du kilowattheure est passé en moyenne de 1100 dollars (820 euros) en 2010, à 137 dollars (115 euros) en 2020.

Par Michel Courtois, avec Agence Forum News

2 Miniaturisation et allègement du moteur : quels sont les enjeux ?

Un moteur électrique a un meilleur rendement (80 %) qu'un thermique (40 %). Les principales pertes sont dues à l'effet Joule, le dégagement de chaleur qui résulte du passage du courant dans le bobinage. L'institut Fraunhofer et l'institut de technologie de Karlsruhe Institute (Allemagne) travaillent à un refroidissement par eau qui réduit l'inertie thermique (la capacité qu'a le moteur à conserver la chaleur) et augmente la puissance continue. Cela permet aussi d'enfermer le moteur dans une boîte en plastique renforcé, plutôt qu'en alu (grâce à la diminution de chaleur dégagée), et de gagner ainsi en poids et en coût. D'autres technologies, pas forcément nouvelles, font l'objet de développement. C'est le cas du moteur à flux magnétique axial — McLaren vient de l'utiliser sur sa dernière *supercar* hybride, une première — dont le rendement élevé permet d'utiliser des tensions basses (60 V contre 300 à 800 V). Cela entraîne des économies sur les dispositifs de sécurité nécessaire aux batteries classiques.

Le moteur électrique doit aussi devenir plus compact. Car plus il est petit, plus il est facile à positionner. Aujourd'hui, le moteur entraîne un essieu, mais on peut imaginer des unités si petites qu'elles se logeraient dans la roue. Cela réduirait les « masses suspendues » (celles que les suspensions ont à supporter), ce qui améliorerait comportement sur route et confort.

3 Comment optimiser la conception de la voiture électrique ?

Plus encore que pour les véhicules thermiques, aujourd'hui, c'est l'aérodynamisme qui dessine les électriques. « *La dimension écologique implique de nouvelles contraintes mais le designer est habitué à en tirer parti* », confirme François Leboine, responsable design des voitures-concepts chez Renault. Les futurs modèles passent des heures en soufflerie pour que soit peaufinée leur pénétration dans l'air, appelée Cx (coefficient de traînée). Sur son SUV électrique e-tron, Audi estime à 5 kilomètres l'autonomie gagnée par centième de Cx. La marque allemande a ainsi été la première à remplacer les rétroviseurs par des caméras. Les roues, en adoptant un dessin fermé, peuvent

e-208

100% électrique

Jusqu'à 340 km d'autonomie - PEUGEOT i-Cockpit® 3D
Recharge rapide 80% en 30 mn*

Consommation mixte WLTP (l/100 km) : 0 ; Emissions de CO_2 WLTP (g/km) : 0
*Recharge sur une borne publique à courant continu de 100 kW
Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Versailles

L'AVIS DE L'EXPERT

JEAN-LOUIS LOUBET DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT D'HISTOIRE DE L'UNIVERSITÉ D'ÉVRY-VAL D'ESSONNE, CHERCHEUR À L'IDHE.S (CNRS)

« Tirer les leçons de l'histoire »

L'automobile et l'électricité, c'est une vieille histoire ?
La voiture électrique n'est pas une nouveauté, elle a plus de cent ans ! En 1899, la première voiture à atteindre les 100 km/h, la « Jamais-contente », est électrique. En 1904, un tiers des automobiles américaines fonctionnent à l'électricité. Mais le faible coût des voitures à essence et le développement du réseau routier, qui augmente les distances parcourues, vont reléguer cette technologie à l'arrière-plan.

JL LOUBET

Va-t-elle être oubliée jusqu'à aujourd'hui ?
Elle fera son retour à la fin des années 1920 en France, avec le soutien de la Société pour le développement des véhicules électriques. Ce lobby défend l'électrique à une époque où le coût des achats pétroliers est amplifié par un franc affaibli depuis la Grande Guerre. Or la France est riche en ressources électriques, notamment hydrauliques. Mais soutenue par Vichy pendant la Seconde Guerre mondiale, elle est marquée du sceau de l'Occupation et se voit rejetée à la Libération. La troisième tentative début 1970 est mondiale, à la suite de deux événements : le Clean Air Act aux États-Unis (loi de diminution de la pollution de l'air) et le choc pétrolier de 1973. Les investissements sur l'électrique sont énormes et les progrès suivent. Mais l'arrivée de l'injection d'essence et du pot catalytique rend les moteurs thermiques moins voraces et moins polluants. Quant au prix du pétrole, il finit par se stabiliser.

Quelles leçons de l'histoire faut-il retenir pour que la voiture électrique s'impose ?
Le succès de la voiture électrique sera la leçon d'un douloureux apprentissage par l'échec. Elle bénéficie aujourd'hui de progrès technologiques en matière de stockage de l'énergie qui, durant cent ans, ont été trop limités. À cela, il faut ajouter l'évolution des usages et des mentalités, encouragée par les interventions des pouvoirs publics pour décarboner le secteur des transports. Des éléments structurants pour constituer un marché. Or, l'automobile électrique ne peut exister sans marché. ■ **Propos recueillis par M. C.**

aussi réduire le Cx de 5 %. D'autres solutions comme le fond plat (carénage sous le châssis venu de la F1) ou l'aérodynamique active (ailerons mobiles selon la vitesse) font leur apparition.
Autre défi : réduire le poids. Ainsi, 100 kg en moins, ce sont 10 km d'autonomie en plus. Or les batteries peuvent peser jusqu'à 800 kg. La chasse aux kilos est donc lancée. Le recours à des matériaux de pointe — aluminium, plastique renforcé de fibre de carbone, carbone, magnésium — est une solution, mais elle est coûteuse.

4 La connectivité peut-elle aider à une conduite plus économe ?

L'autonomie d'un véhicule électrique dépend de la façon dont on le conduit. Le système de navigation peut assister le conducteur par une fonction prédictive. Grâce à ses données de cartographie, il anticipe le profil de la route et influe sur la gestion du passage des vitesses ou du frein moteur. Avec la communication *« car-to-car »*, il pourra même prévoir un ralentissement après une courbe à l'aveugle, grâce aux informations envoyées par les véhicules déjà arrêtés. Les données de navigation sont également croisées avec celles des capteurs et caméras qui servent à la conduite autonome. Des travaux menés sur cette fonction prédictive par le spécialiste américain Navteq concluent à une baisse de consommation de 6 % en anticipant les actions de conduite grâce à des informations dont ne dispose pas le conducteur aujourd'hui.
L'électronique peut aussi planifier les trajets en tenant compte des contraintes de l'électrique. Une fois la destination rentrée, le système calcule le parcours le plus rapide, le plus économe selon le type de route, tout en intégrant les recharges en fonction de la disponibilité des bornes et de leur puissance. Le GPS peut ainsi prévoir un arrêt court sur une borne de faible capacité, de manière à recharger suffisamment pour rallier une borne rapide quelques kilomètres plus loin.

5 À quand la charge rapide pour tous ?

100 000 bornes devaient être déployées fin 2021. Or, selon l'Avere France (Association nationale pour le développement de la mobilité électrique), le territoire comptait 31 206 points de charge publics en février, ce qui correspond à 1 pour 11,1 véhicules zéro émission. Le nombre est une donnée clé, la puissance aussi. Le Gireve (Groupement pour l'itinérance des recharges électriques de véhicules) estime que 68 % des bornes délivrent entre 14 et 22 kW, soit une immobilisation, pour une Peugeot e-208, de 5 à 3 heures pour une charge complète de la batterie.
Tesla et un consortium de constructeurs (Ionity) se sont lancés dans la course à la puissance. Les superchargeurs de la marque californienne sont capables de délivrer 250 kW et les Ionity peuvent atteindre 350 kW. Encore faut-il que des modèles puissent accepter de telles puissances, ce qui est encore rare. Mais l'enjeu est fort : on fait alors le plein en 20 minutes. L'induction pourrait par ailleurs faciliter la recharge : fini, le câble ! Il suffit de stationner la voiture au-dessus d'une borne dans le sol. L'Oak Ridge National Laboratory (États-Unis) développe même un système capable de recharger un véhicule... en roulant (120 kW). Une autre voie consiste à changer les batteries vides contre des pleines (*quickdrop*). Ample, partenaire d'Uber, a présenté une station d'échange automatisée où l'opération prend 10 minutes, le géant chinois Niro promet 3 minutes avec la sienne. ■

Véhicule électrique, levez les freins !

Une borne de recharge à la maison ? C'est une solution simple, confortable et source d'économies conséquentes que beaucoup de propriétaires choisissent pour brancher leur véhicule électrique. La mobilité écologique n'a jamais été aussi simple d'accès et d'usage !

J'agis avec ENGIE

EVBOX

Ce n'est plus à démontrer : la voiture électrique fait partie des solutions moteurs de la transition énergétique actuelle. Et parmi les solutions innovantes, le véhicule électrique à batterie (VEB) présente une réduction de 50 à 70 % de l'empreinte carbone par rapport au véhicule thermique fossile, et ce malgré la fabrication de la batterie et son recyclage [1] !

Rouler responsable...

Neuve ou d'occasion, électrique ou hybride... la voiture électrique est à portée de main et s'impose aujourd'hui comme l'alternative écologique aux véhicules traditionnels. Opter pour la mobilité électrique, c'est réduire les pollutions atmosphérique et sonore, et diminuer ses déchets industriels. Un vrai engagement pour la transition énergétique et la santé de tous.

...avec une borne de recharge à la maison

Oubliez la quête d'une borne dans l'espace public, optez pour une borne à domicile ! Si vous habitez en logement individuel, rien n'est plus simple. Un expert en mobilité verte vous conseille, un technicien certifié réalise votre installation et vous gagnez sur tous les plans : rapidité de charge, confort et économies puisque l'électricité est moins chère que l'essence et le diesel, et que vous pouvez bénéficier d'un crédit d'impôts et d'une réduction de TVA [2]. Feu vert !

ELEC'CHARGE

pour recharger vos batteries chez soi

Elec'Charge vous permet de recharger votre voiture électrique chez vous, jusqu'à trois fois plus vite [3] que sur une prise standard. Nos conseillers clientèles vous accompagnent dans le choix de la puissance de la borne à installer. Puis notre technicien assure la prise en main de votre borne une fois l'installation terminée. Avec Elec'Charge, pas de mauvaise surprise sur le prix : tout est inclus, depuis la fourniture du matériel jusqu'à sa pose, avec une garantie de deux ans pièce et garantie d'un an main-d'œuvre.

ENGIE

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

(1) Source : Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'une voiture vendue en 2020 Europe - Segment B et D | gCO2e/km - Carbone 4 - Novembre 2020

(2) La borne de recharge pour véhicule électrique est éligible au Crédit d'Impôt Transition Énergétique (CITE). Pour bénéficier de ce crédit d'impôt, vous devez installer votre borne dans votre habitation principale, votre logement doit avoir été achevé depuis plus de deux ans (Loi 2011-1977 du28/12/2011 art. 81, I) et l'installation doit être réalisée par un technicien habilité IRVE. En complément, vous devrez reporter le montant TTC de l'installation de votre borne de recharge figurant sur votre facture dans la case 7BF de votre feuille d'impôt. Taux de TVA réduit à 5,5 % sous réserve que le client retourne à ENGIE le CERFA n°13947*05 garantissant que le logement a plus de 2 ans. À défaut, le taux de TVA sera à 20%.

(3) « Jusqu'à 3 x plus rapide » : différentiel de vitesse de charge constaté entre une borne de puissance 7,4 kW (32A) et une prise murale (8A).

BRONCHOSPASME Contraction intense et transitoire des muscles bronchiques entraînant une diminution du calibre des bronches et réduisant le débit d'air.

ÉPREUVES FONCTIONNELLES RESPIRATOIRES (EFR) Mesures des caractéristiques du souffle permettant d'évaluer la sévérité de l'asthme.

INTERLEUKINES Protéines naturelles impliquées dans l'inflammation et produites par le système immunitaire.

Un nouveau souffle pour traiter l'asthme sévère

Alors que certains patients gravement touchés ne répondent pas aux traitements classiques, des biothérapies injectées une fois par mois permettent de bloquer l'emballement de l'inflammation. Mieux, elles ouvrent la voie à des traitements personnalisables.

Par Sylvie Riou-Milliot

Une petite toux sèche, un essoufflement, l'impossibilité de respirer à fond... Autant de signes que les asthmatiques ne connaissent que trop bien. Mais parfois, rien, aucun symptôme. Si ce n'est la découverte fortuite, à l'auscultation, de sifflements typiques qui, eux, orienteront le diagnostic. Dans tous les cas, il s'agit pourtant bien d'asthme, du grec *asthma* (« respiration difficile »), dont la première description se trouve dans *l'Iliade*, le poème épique grec décrivant le siège de Troie. Si le souffle des asthmatiques devient court, c'est parce que la quantité d'air parvenant à leurs poumons est réduite à cause de plusieurs anomalies : une inflammation chronique locale, un épaississement des parois des bronches, le tout associé à un risque de bronchoconstriction, à l'origine des crises *(voir l'infographie p. 65)*. Cette année encore, la journée mondiale qui a lieu ce 4 mai sera l'occasion de rappeler que 330 millions de personnes sont concernées dans le monde, dont près de quatre millions en France. *« Or, il n'y a pas "un" mais "des" asthmes »*, prévient Cécile Chenivesse, pneumologue au centre hospitalier régional universitaire de Lille et membre du réseau national de recherche sur l'asthme sévère Crisalis (Clinical Research Initiative in Severe Asthma).

Les cellules activées diffèrent selon les malades

Léger, modéré, difficile, sévère : comme toujours, les nuances sont importantes, la maladie étant très hétérogène. Et si l'inflammation avec sa cascade complexe d'événements qui reste à décrypter dans son intégralité est présente chez tous les asthmatiques, on sait aujourd'hui que les cellules activées ne sont pas les mêmes chez tous les malades.

330 millions
d'asthmatiques dans le monde dont 4 millions en France.

6,7 %
de la population totale dont 9 % des enfants sont touchés par cette maladie.

1000
morts par an en France dues à l'asthme.

Dans les cas d'asthme sévère (5 % des cas, environ 200 000 patients), il est devenu possible de connaître avec précision la voie spécifique de l'inflammation pour chaque malade. Intérêt : proposer, en fonction du profil inflammatoire, une thérapeutique personnalisée dite biothérapie. De fait, c'est surtout à ces cas graves que la recherche s'est intéressée ces dernières années. Chez eux, tout se passe comme si la maladie « échappait » aux traitements classiques inhalés, quand les doses maximales de traitement classique ont été atteintes. Il faut alors rajouter d'autres corticoïdes en prise orale, dont les effets sur le long terme ne sont pas sans risque (prise de poids, hypertension artérielle, diabète, fragilité osseuse et cutanée, etc.). C'est à ce niveau qu'interviennent les biothérapies

SCIENCE PHOTO LIBRARY

Une inflammation chronique locale et un épaississement des bronches caractérisent l'asthme (illustration).

en permettant surtout de réduire cette prise de corticoïdes. Leurs mécanismes d'action complexes reposent sur le blocage spécifique de cellules et agents intervenant dans certaines voies de l'inflammation. L'idée est de bloquer ces voies pour « casser » le plus tôt et le plus efficacement possible la puissante cascade inflammatoire. Objectif : éviter son emballement, ou tout au moins le freiner.

Deux fois moins d'exacerbations sévères

Tout a commencé il y a une dizaine d'années avec des premiers travaux sur certains anticorps, les immunoglobulines E (IgE). Très vite, un anti-IgE (omalizumab) a été développé et la première biothérapie dans l'asthme était née. C'était il y a déjà plus de dix ans. Mais alors que cette molécule était pressentie comme universelle, seuls 30 % des asthmatiques sévères y ont répondu. Ce qui a permis de conclure que les IgE n'étaient pas seules à déclencher l'inflammation et que d'autres voies, encore inconnues, étaient impliquées. C'est ainsi que de nouveaux « responsables », tous sécrétés par le système immunitaire, ont peu à peu été identifiés, notamment les interleukines (IL) 4, 5, 13, 17, 33, TSLP (Thymic Stromal Lymphopoietin)... Autant de substances correspondant à des voies de l'inflammation inhibées par les biothérapies. Résultat, à ce jour, plusieurs molécules sont disponibles. « *Toutes permettent en moyenne de réduire de moitié les doses de corticoïdes oraux et aussi de diviser par deux le nombre d'exacerbations sévères, ces périodes nécessitant des prises de corticoïdes oraux pendant plus de trois jours* », détaille Cécile Chenivesse.

Ni inhalées ni prises par voie générale, ces molécules sont injectées une fois par mois par le patient lui-même, pour la plupart par voie sous-cutanée. Mais

ÉDUCATION THÉRAPEUTIQUE

Comment bien manipuler son inhalateur

« *La pierre angulaire du traitement de l'asthme, ce sont les inhalateurs* », insiste Valéry Trosini-Désert, responsable de l'unité d'endoscopie bronchique à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris. Mais faut-il les secouer avant usage, les amorcer, et combien de temps retenir sa respiration ? Bref, comment être certain de « bien » les utiliser ? Très souvent le médecin prescripteur n'a pas le temps (ou ne le prend pas) d'expliquer au patient le fonctionnement du dispositif, et pense que le relais sera pris par le pharmacien qui croit de son côté que le médecin a déjà tout dit. Résultat, un patient sur trois fait des erreurs. C'est la raison pour laquelle la pneumologue a créé le programme Zéphir. Au départ, en 2012, sous la forme d'un livre et, depuis 2013, un format numérique avec des vidéos visionnables sur Internet et smartphone a été développé. 61 dispositifs (aérosols doseurs pressurisés, inhalateurs de poudre sèche) ont à ce jour été recensés et d'autres sont à venir. Bien mieux que des notices longues et rébarbatives, un format vidéo court explique en images et pour chaque dispositif la séquence précise des gestes à réaliser. Mis à jour régulièrement, ces films pédagogiques sont disponibles sur le site de la Société de pneumologie de langue française*. Ils sont aussi depuis peu inclus dans les ordonnances de certains hôpitaux sous forme d'un QR code imprimé sur la prescription. Ce qui permet au patient doté d'un smartphone de les regarder autant de fois que nécessaire pour utiliser le dispositif médical efficacement.

AMELIE-BENOIST / BSIP

Un patient sur trois commet des erreurs dans l'utilisation de l'inhalateur, compromettant son traitement.

*splf.fr/videos-zephir

dès lors comment savoir quelle est la molécule la mieux adaptée à son asthme ? « *Les études ont schématiquement distingué trois profils* », détaille Cécile Chenivesse. Pour déterminer le profil inflammatoire d'un patient, les chercheurs ont recours à des biomarqueurs variables selon la voie préférentiellement activée. En pratique, « *pour les deux premiers, nous avons recours aux dosages sanguins des IgE et des éosinophiles (un type de globules blancs)*, détaille la pneumologue lilloise. *Pour le troisième, c'est une mesure dans l'air expiré d'une molécule synthétisée au niveau bronchique, le monoxyde d'azote (NO)* ». Mais là encore, rien n'est simple, ni parfait : seulement 30 % des patients répondent aux traitements. Un quatrième profil vient d'être décrit mais aucune biothérapie n'a encore été développée. Par ailleurs, certains asthmatiques présentent des profils mixtes car chez ces derniers plusieurs voies peuvent être activées. Faudra-t-il un jour associer plusieurs biothé-

C. CHENIVESSE

« Les études ont permis de distinguer schématiquement trois profils inflammatoires de patients »

Cécile Chenivesse, pneumologue au CHRU de Lille (Nord), membre du réseau national de recherches sur l'asthme sévère Crisalis

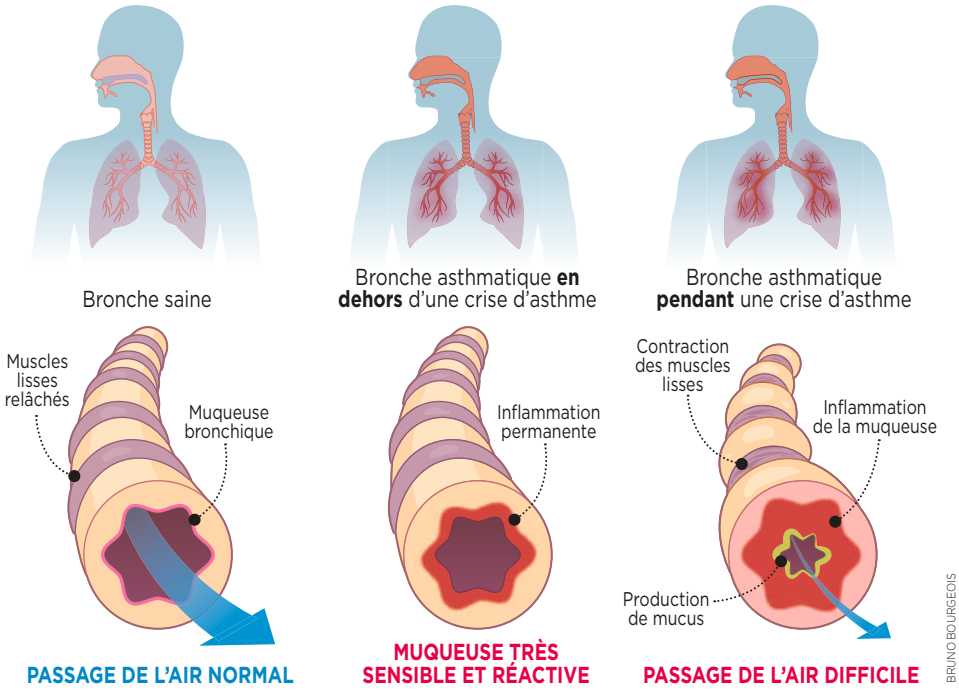
rapies pour traiter ces cas ? « *La question commence tout juste à se poser*, poursuit la pneumologue. *Mais le plus urgent aujourd'hui est de repérer des asthmes sévères. L'absence de réaction au traitement classique ou la nécessité de prendre des corticoïdes oraux plus de deux fois par an sont des signes qui doivent alerter pour faire un bilan, remettre tout à plat et voire reconsidérer le diagnostic.* » En effet, « *la pire situation est celle de ces personnes à qui on a dit un jour "vous avez une bronchite asthmatiforme" et qui prennent des corticoïdes oraux depuis des années sans que ces traitements soient réévalués* », regrette Camille Taillé, pneumologue à l'hôpital Bichat-Claude-Bernard, à Paris.

Des décès pour la plupart évitables

Ultime possibilité enfin dans les cas les plus complexes : la chaleur — une approche non médicamenteuse *(lire l'encadré ci-dessous)*. Heureusement, pour la très grande majorité des asthmatiques (plus de 80 %), le traitement de fond dit classique demeure suffisant. Prescrit le plus souvent sous forme d'inhalateurs, il repose sur une association de deux classes médicamenteuses, celle des bronchodilatateurs dits de longue durée d'action (pour diminuer le risque de spasme bronchique) et celle des corticoïdes (pour lutter contre l'inflammation), les doses pouvant être augmentées selon les besoins. À noter toutefois que « *ces inhalateurs, très hétérogènes, sont encore mal manipulés par un patient sur trois* », précise Valéry Trosini-Désert, pneumologue et responsable de l'unité d'endoscopie bronchique à l'hôpital de la Pitié Salpêtrière, à Paris *(lire l'encadré p. 65)*. Des erreurs de manipulation (moins de dose active délivrée) qui, associées à des prises souvent irrégulières des traitements, expliquent le mauvais contrôle de l'asthme. De plus, « *les programmes d'éducation thérapeutique ne sont pas toujours proposés par les médecins, ni accessibles partout sur le territoire* », rajoute Cécile Chenivesse. Une éducation pourtant toujours essentielle, que la maladie soit légère ou sévère. Souvent silencieux en dehors des crises, l'asthme demeure aussi banalisé. Résultat, on oublie qu'il est responsable, en France, de près de 1000 morts chaque année. Des décès pour la plupart évitables si la maladie était mieux contrôlée. Or, la prise en charge reste largement perfectible. « *Moins de 20 % de l'ensemble des asthmatiques ont réalisé des tests d'exploration fonctionnelle (EFR) reflétant la gravité de l'obstruction bronchique* », déplore Camille Taillé.

Afin de remédier à ces insuffisances, un livre blanc a été présenté en janvier lors du dernier congrès de la Société de pneumologie de langue française par un collectif de pneumologues, de sociétés savantes et d'associations de patients. Il préconise une trentaine de mesures concrètes visant à améliorer la recherche et le parcours des asthmatiques, quelle que soit la sévérité de leur atteinte. Sans oublier la nécessité de mieux accompagner les asthmes sévères et de lutter contre les facteurs environnementaux. ■

À l'origine de la gène respiratoire, l'inflammation des bronches



BRUNO BOURGEOIS

THERMOPLASTIE

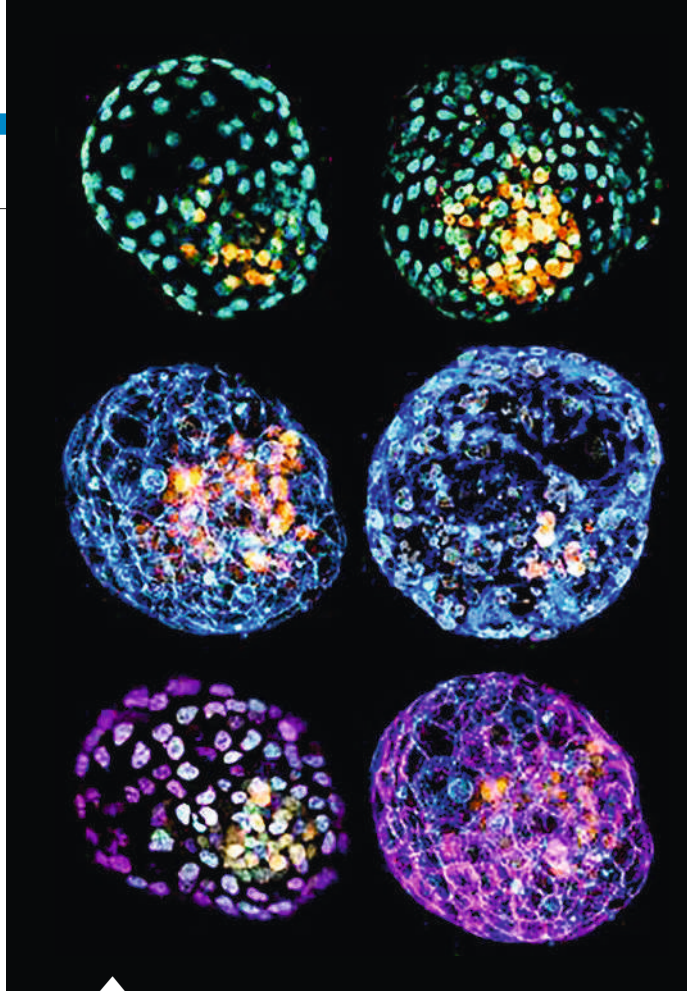
65 °C pour déboucher les bronches

Soigner l'asthme par la chaleur. Tel est le principe de la thermoplastie, une technique de dernier recours exclusivement réservée aux asthmes sévères non contrôlés. Objectif : détruire à 65 °C sous anesthésie générale la paroi des bronches épaissie pour augmenter le diamètre des conduits et ainsi le volume d'air circulant. Si ses effets durent dix ans comme vient de le prouver une étude parue dans Lancet Respiratory Medicine, aucune société savante ne la recommande encore. « Trois séances sont nécessaires pour traiter l'ensemble des zones et des travaux sont en cours pour réduire le nombre de séances », précise Camille Taillé pneumologue à l'hôpital Bichat-Claude Bernard (AP-HP), à Paris, l'un des rares centres* pratiquant la technique.

Bordeaux, Lille, Lyon, Marseille, Nantes, Paris, Strasbourg, Toulouse.

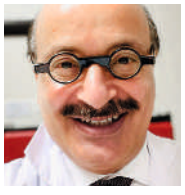
Des embryons artificiels, sans gamètes ni utérus

Deux instituts de recherche sont parvenus à concevoir simultanément des embryons humains à partir de cellules souches. Le but : mieux comprendre le développement organique et l'origine de certaines maladies.



Les blastoïdes développés à partir de cellules souches ont une structure comparable à leur équivalent naturel, comme en témoignent différents marquages fluorescents faisant apparaître leur structure.

UNE PREMIÈRE : des embryons artificiels humains conçus sans fécondation, à partir seulement de cellules souches. C'est ce que viennent d'obtenir deux laboratoires australien et américain, qui ont publié simultanément leurs résultats dans la revue *Nature*. De véritables exploits, tant l'étude du développement embryonnaire humain est difficile. Les obstacles sont en effet nombreux : l'embryon est minuscule, il se développe très rapidement, il est difficilement observable *in vivo* (dans l'utérus de la mère) tandis que les lois de bioéthiques limitent son étude *in vitro* à 14 jours. « *Plusieurs équipes avaient déjà tenté d'y parvenir, mais elles n'avaient pas réussi à créer toutes les lignées cellulaires*, explique Jun Wu, directeur de laboratoire au Southwestern Medical Center de l'université du Texas (États-Unis), et auteur de l'une des études. *La clé se trouvait dans les cellules de départ : elles doivent ressembler le plus possible à celles dites "naïves", présentes dans les étapes précoces du développement embryonnaire.* » Ces cellules ont la capacité de générer toutes les lignées cellulaires présentes lors du blastocyste, étape entre le 5e et le 7e jour où l'embryon se sépare en une couche périphérique (le trophectoderme, qui donnera le placenta et le cordon ombilical) et un amas d'une centaine de cellules de la masse interne qui formeront le fœtus. Pour programmer ses propres cellules souches « naïves », ingrédient de base de l'embryon artificiel, l'équipe de Jun Wu est partie de deux autres types : celles issues directement d'embryons d'une part, et des cellules souches pluripotentes induites (iPS) d'autre part. L'avantage de ces dernières est d'être elles-mêmes issues d'une reprogrammation de cellules adultes, de peau en l'occurrence, tout en pouvant se redifférencier en presque n'importe quel type composant l'organisme… comme le ferait une cellule embryonnaire. « *Nous avons eu les mêmes résultats avec ces deux types, ce qui veut dire que les iPS peuvent remplacer les cellules souches embryonnaires.* » L'étude australienne, dirigée par Jose Polo, est parvenue à des résultats similaires avec un protocole un peu différent, utilisant seulement des cellules de peau reprogrammées.



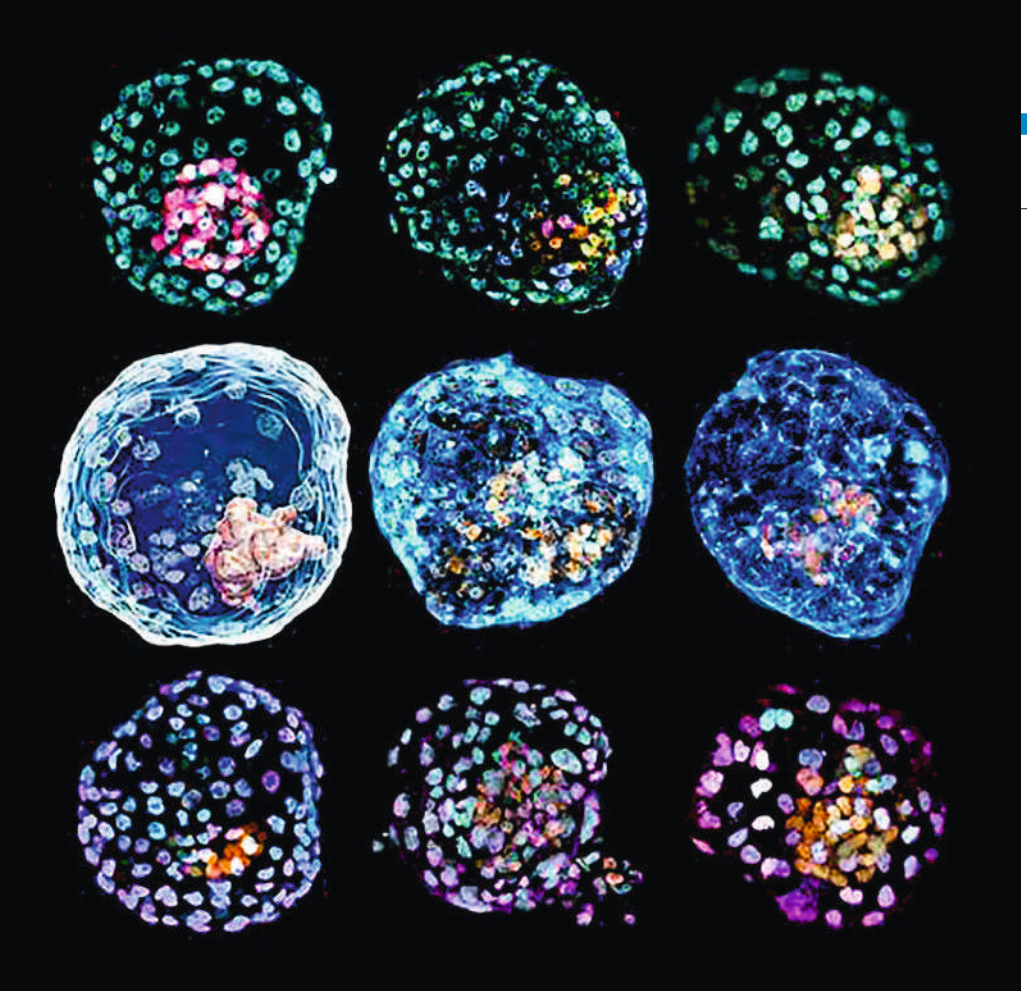
S. HAMAMAH

« Ce modèle nous permettra d'améliorer le taux de succès des fécondations *in vitro* »

Samir Hamamah, directeur de l'unité Inserm Développement embryonnaire précoce humain et pluripotence au CHU de Montpellier

Des faux embryons inadaptés à un cadre reproductif

« Blastoïdes », c'est le nom donné à ces embryons artificiels que l'équipe américaine a pu cultiver pendant 7 à 10 jours, au cours

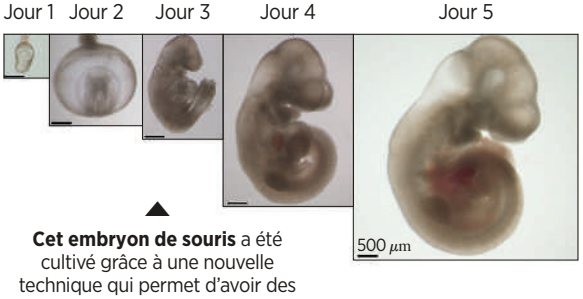


POLO AND ZENKER GROUP, MONASH UNIVERSITY

desquels la structure a pris la taille et la forme d'un véritable blastocyste. « *Les blastoïdes imitent les blastocystes, mais ils ne sont pas identiques pour autant*, rassure Jun Wu. *Ils ne sont pas générés de la même façon, ce qui peut se refléter dans leur expression génétique. Nous y avons ainsi trouvé des cellules qui sont absentes des blastocystes. Enfin, leur capacité de croissance lors des étapes plus tardives du développement embryonnaire est moindre.* » En clair, il est biologiquement impossible que ces blastoïdes deviennent des bébés humains. Mais là n'est pas le but. « *Il y a encore beaucoup de choses qu'on ne comprend pas du développement de l'embryon et les blastoïdes doivent nous aider à remplir ces vides*, assure Jun Wu. *Nous avons déjà étudié ce processus avec des modèles animaux, mais le blastoïde est plus fidèle, et ouvre la porte vers une meilleure connaissance du développement humain.* »

Pour Samir Hamamah, directeur de l'unité Inserm Développement embryonnaire précoce humain et pluripotence au CHU de Montpellier (qui n'a pas participé à ces études), ces nouveaux modèles embryonnaires représentent une avancée majeure dans le domaine : « *C'est un modèle extrêmement utile, robuste et intéressant. Il nous permettra d'améliorer le taux de succès des fécondations* in vitro, *dont la moitié des embryons ne sont ni implantés ni congelés car leur qualité est jugée insatisfaisante. On pourra aussi comprendre l'origine de certaines maladies et étudier la toxicité de certains facteurs, comme les perturbateurs endocriniens.* »

Reste que ces résultats étonnants ont été publiés concomitamment avec ceux d'une nouvelle technique de culture d'embryons qui pourrait permettre d'aller au-delà de la limite légale des 14 jours. Mise au point en Israël à l'Institut Weizmann des sciences par l'équipe de Jacob Hanna, elle a permis l'exploit de cultiver des embryons de souris jusqu'à peu près la moitié de leur temps de gestation total de 20 jours, quand les membres inférieurs commencent à prendre forme et que tous les organes majeurs sont en place (*voir photo ci-dessous*). « *La clé a été d'adapter les niveaux d'oxygène et de glucose à chaque étape du processus, pour être au plus près du développement normal* », explique le doctorant mexicain Alejandro Aguilera, premier auteur de l'étude.



JACOB HANNA

Cet embryon de souris a été cultivé grâce à une nouvelle technique qui permet d'avoir des niveaux d'oxygène et d'éléments nutritifs optimaux à chaque étape.

4 jours de développement supplémentaires

Pour cela, l'embryon a d'abord été placé dans des boîtes de culture jusqu'au 7e jour de son développement, pour ensuite être transféré dans des bouteilles en rotation, dont le mouvement l'empêchait de se coller aux parois, tout en mélangeant le milieu de culture pour maintenir les bonnes concentrations d'oxygène et de nutriments. De quoi garder en vie les embryons pendant 4 jours supplémentaires, atteignant la même taille et la même morphologie que des embryons *in utero* au 11e jour de développement. Cependant, « *quand l'embryon devient trop grand, les éléments nutritifs n'arrivent plus jusqu'aux organes internes*, détaille Alejandro Aguilera. *Pour la suite, il faudrait un système imitant le cordon ombilical et le placenta pour nourrir l'embryon.* » La production de bébés à la chaîne imaginée par Aldous Huxley dans *Le Meilleur des mondes* n'est pas pour demain. ■

Nicolas Gutierrez C. @n6g6c

CAMILLE GAUBERT

Les patients s'entraînent à reconnaître différentes odeurs enfermées dans des « stylos » ou avec le jeu du Loto des odeurs (ici à l'hôpital Foch, à Suresnes).

Retrouver l'odorat après le Covid-19

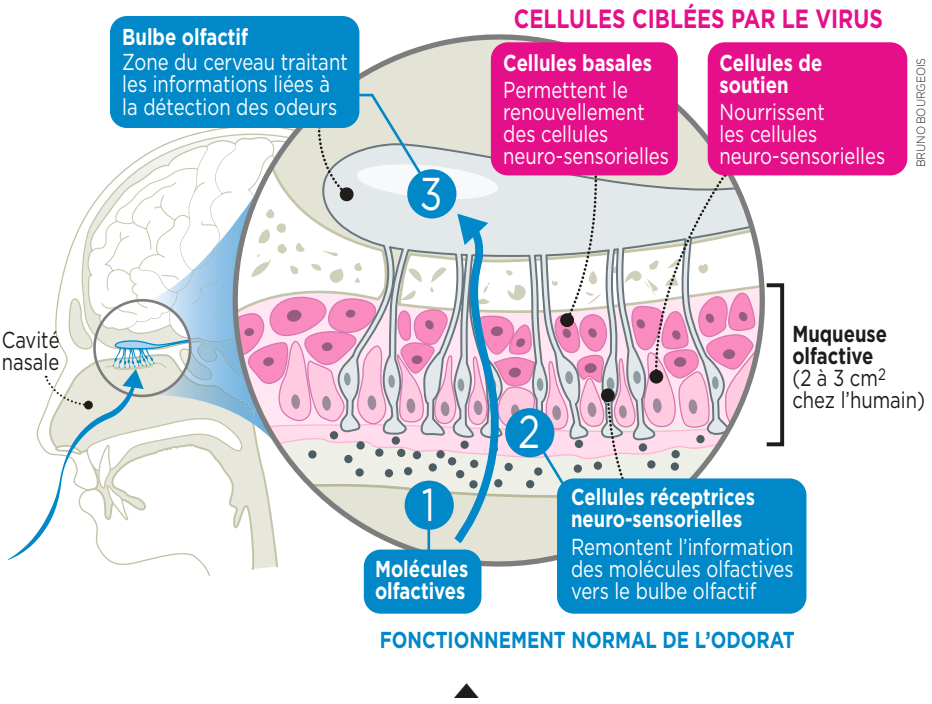
Environ 80 % des patients atteints du coronavirus souffrent d'anosmie, c'est-à-dire d'une perte de l'odorat. Des méthodes de rééducation olfactive existent. Reportage dans un service ORL.

« J'ai eu le Covid-19 *il y a trois mois, et j'ai aussitôt perdu l'odorat.* » Charlène*, 33 ans, est inquiète : elle ne l'a toujours pas retrouvé. Aussi a-t-elle décidé de venir consulter Stéphane Hans, chef du service ORL de l'hôpital Foch, à Suresnes (Hauts-de-Seine). « *Ça ne revient pas, et ça devient un peu difficile. Je ne sens pas les parfums, si ça brûle dans la cuisine je ne le sens pas non plus* », continue-t-elle. Comme Charlène, environ 80 % des patients atteints de Co-vid-19 souffrent d'anosmie, c'est-à-dire d'une perte de l'odorat. « *Ce symptôme concerne principalement les patients avec un Covid-19 léger ou modéré, et seulement 5 à 10 % des patients hospitalisés pour un Covid-19 sévère* », explique Stéphane Hans. Certaines anosmies sont plus légères que d'autres. Charlène commence par passer un test pour évaluer ce qu'il reste de son odorat. « *On s'aperçoit que certains patients qui se pensent anosmiques sont en réalité hyposmiques, c'est-à-dire qu'ils sentent moins bien les odeurs* », commente le spécialiste.

Clou de girofle, mandarine, vieux poisson… : il fait sentir à Charlène 16 odeurs concentrées dans un kit de 16 « stylos » appelé « *Burghart Sniffin'Sticks* », créé en Allemagne où il fait référence. « *C'est un peu perturbant* », lâche Charlène en constatant qu'elle ne per-

çoit que quelques odeurs sans parvenir à les identifier. « *La perte d'odorat peut avoir des conséquences psychologiques importantes pour les patients*, confirme Stéphane Hans. *Ils ne sentent plus l'odeur de leurs enfants, ni celle du gaz, ça peut être très mal vécu. Il m'est arrivé d'en adresser quelques-uns à des psychologues.* » Le diagnostic tombe pour Charlène : seulement quatre odeurs perçues sur les 16, c'est une anosmie sévère. Heureusement, avec une bonne prise en charge, 95 % des patients retrouvent l'odorat dans les six mois, d'après une étude européenne sur 3000 patients espagnols, belges, italiens et français, à laquelle Stéphane Hans a participé. Si cela prend autant de temps, c'est qu'il faut attendre que se régénèrent les cellules de la muqueuse olfactive qui ont été détruites par le Sras-CoV-2, le virus du Covid-19, et par l'inflammation qu'il a provoquée.

Une attaque par des voies détournées

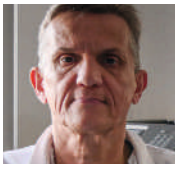


Le virus affecte l'odorat en touchant les cellules de soutien, voire en ciblant les cellules basales, plus en profondeur dans la muqueuse. Dans les cas les plus graves, le bulbe olfactif est même atteint.

La nécessité d'agir le plus vite possible

Cette muqueuse est une petite zone de deux à trois centimètres carrés située au sommet des cavités nasales. S'y trouvent notamment des cellules réceptrices neurosensorielles, sur lesquelles se fixent les molécules olfactives que nous détectons ensuite comme des odeurs. Elles transmettent ainsi l'information aux deux bulbes olfactifs, dans le cerveau, pour traiter l'information. Si elles ont un rôle essentiel dans l'olfaction, ce ne sont pas les principales cibles du Covid-19. Elles ne possèdent en effet pas de récepteurs ACE2, ces protéines qui servent de porte d'entrée au virus. Contrairement à un autre type de cellules de la muqueuse olfactive, les « cellules de soutien ». Portes d'entrée idéales pour le Sras-CoV-2, celles-ci ont notamment pour rôle de nourrir les cellules neurosensorielles et de décrocher les molécules olfactives qui s'y sont fixées, afin que notre odorat ne soit pas saturé et bloqué sur une seule odeur après y avoir été exposé. Mais parfois, l'atteinte due au Covid-19 est encore plus profonde et peut atteindre les cellules basales, situées en dessous des cellules de soutien, elles aussi porteuses du récepteur ACE2. Ce sont ces cellules basales qui permettent la régénération des cellules de soutien, et le renouvellement des cellules neurosensorielles *(voir l'infographie ci-dessus)*. « *Il faut comparer cette atteinte de la muqueuse olfactive à une brûlure au 1er, 2e ou 3e degré : plus c'est profond, plus la cicatrisation sera difficile* », explique Duc Trung Nguyen, médecin ORL au CHRU de Nancy. Ainsi, chez les patients dont les cellules basales ont été détruites, il est possible que l'odorat ne revienne que partiellement… ou pas du tout. « *Les bulbes olfactifs peuvent également être affectés chez les patients atteints de Covid-19* », explique Stéphane Hans à Charlène.

Pour réparer au mieux les dégâts, il faut agir vite. Car sans intervention, les cellules de la muqueuse olfactive peuvent se régénérer de ▸


CAMILLE GAUBERT

« La perte d'odorat peut avoir des conséquences psychologiques importantes pour les patients »

Stéphane Hans, chef du service ORL de l'hôpital Foch, à Suresnes

façon incomplète ou aberrante, conduisant le patient à percevoir une autre odeur que celle à laquelle il est exposé (parosmie) ou même à sentir des odeurs alors qu'il n'est exposé à rien de particulier (phantosmie). Si l'odorat n'est pas revenu après deux semaines, qui sont le temps de régénération des cellules de soutien, il faut consulter sans attendre, conseille donc Duc Trung Nguyen. Avec un an de recul sur la maladie, plusieurs outils sont aujourd'hui à la disposition des soignants. Le traitement commence par des lavages de nez au sérum physiologique, pour évacuer les débris de la muqueuse, tandis que des corticoïdes sont administrés pour éteindre l'inflammation causée par le système immunitaire. Vient ensuite la rééducation olfactive, généralement sur plusieurs mois, « *au moins 16 semaines* », précise Duc Trung Nguyen.

L'importance du phénomène de réminiscence

La rééducation consiste pour le patient à sentir matin et soir, chez lui, des odeurs précises qu'il est susceptible de reconnaître. À cette fin Stéphane Hans conseille à Charlène de se procurer un jeu de société appelé le Loto des odeurs, dans lequel 30 petits flacons contiennent des odeurs synthétiques. Le jeu est normalement de chercher à les identifier juste en les reniflant, mais pour la rééducation, c'est l'inverse qui est prescrit. « *Vous regardez d'abord quelle est l'odeur que vous allez sentir, puis vous la sentez tout en essayant de vous remémorer l'odeur en question*, explique Stéphane Hans à sa patiente, *car il y a un phénomène de réminiscence qui est très important dans la rééducation olfactive.* » Lors de son test, Charlène peut tout juste percevoir que l'odeur des « stylos » « *pique le nez* », qu'elle est « *un peu sucrée* » ou encore, dans le

KSENIYA SHKURKO

« En employant bien les odeurs, on peut travailler sur la mémoire autobiographique »

Olga Alexandre, neuropsychiatre et biochimiste

meilleur des cas « *qu'elle rappelle le matin… Comme le café ?* », suggère-t-elle timidement ?
« *Les odeurs sont très liées à nos émotions et nos souvenirs, c'est la fameuse madeleine de Proust* », explique Olga Alexandre, neuropsychiatre et biochimiste. Spécialiste des substances odorantes, elle a développé en 2014 la méthode OSTMR (*Olfactory Stimulation Therapy and Memory Reconstruction*, en anglais), soit « thérapie par stimulation olfactive et reconstruction de la mémoire ». « *En employant bien les odeurs, on peut travailler sur la mémoire autobiographique et soigner beaucoup de choses* », explique-t-elle. En Biélorussie, son pays natal, elle a commencé notamment par soigner le stress, le deuil, les troubles anxieux ou encore la gestion de la douleur des patients atteints de maladies incurables, dont des cancers, en soins palliatifs pédiatriques. C'est face aux anosmies que peuvent provoquer les chimiothérapies qu'elle a eu l'occasion de mettre au point le protocole OSTMR de prise en charge des troubles de l'odorat. En 2018, une formation spécialisée est ouverte en partenariat avec l'École supérieure du parfum, à Paris, dont la moitié des inscrits sont des professionnels de santé. Avec l'arrivée du Covid-19, le protocole est affiné pour correspondre à ces nouveaux patients et aux désordres olfactifs qu'ils peuvent parfois développer. Cette nouvelle méthode répond à un

OSTMR

L'OSTMR, thérapie par stimulation olfactive et reconstruction de la mémoire, repose sur des kits de 80 odeurs particulières (iodée, rose musquée…) susceptibles de réveiller une émotion chez le patient.

vrai besoin français, où aucune méthode de rééducation olfactive n'est unanimement adoptée et validée. « *En France, nous n'avons pas comme au Royaume-Uni ou en Allemagne de kits d'odeurs standardisés et validés scientifiquement* », se désole Duc Trung Nguyen, qui travaille justement à en développer un de fabrication française.

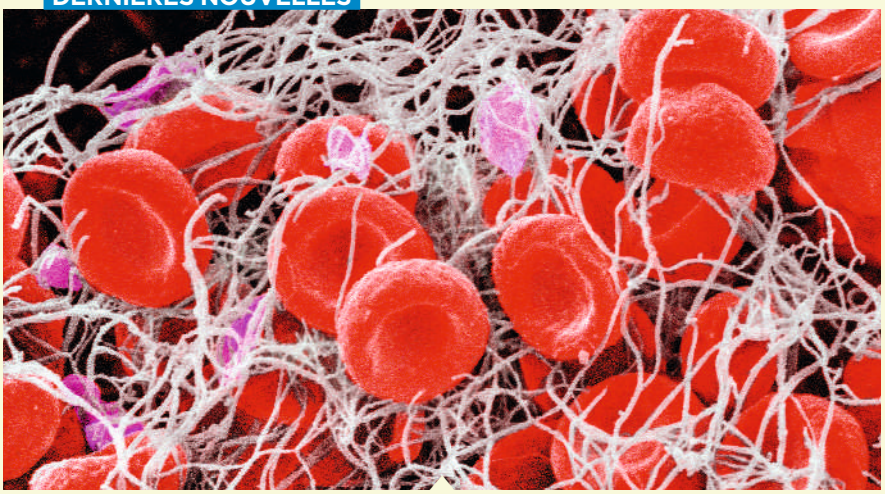
Réveiller une émotion chez le patient

Dans ce paysage français hétérogène où sont utilisés les « stylos » à odeur, les méthodes maison comme le Loto des odeurs ou même les mélanges d'huiles essentielles, dont la toxicité potentielle force à la prudence, l'OSTMR et son approche personnalisée rencontre donc un joli succès. Car si la standardisation a du sens, de façon à harmoniser les prises en charges et leur efficacité sur l'ensemble du territoire, l'OSTMR a au contraire fait le choix de la flexibilité. Parmi un kit de 80 odeurs développées selon les normes chimiques européennes en vigueur, sont choisies celles qui sont le plus susceptibles de réveiller une émotion chez le patient, comme une odeur iodée pour un amateur de vacances à la mer, explique Olga Alexandre. Cette approche est plébiscitée par les professionnels de l'olfaction, comme les parfumeurs, cuisiniers ou sommeliers, particulièrement démunis par leur anosmie. « *Nous ne nous contentons pas de faire reconnaître l'odeur de la rose au patient, nous voulons qu'il puisse différencier la rose de Damas de la rose musquée* », pointe la spécialiste. Dans son kit, les odeurs d'herbe coupée, de riz cuit, de vieux livre ou encore de cheminée ont permis à 88 % des patients de récupérer leur odorat. Tout comme Duc Trung Nguyen, Olga Alexandre aimerait que son kit soit adopté plus largement. ■

Camille Gaubert @CamilleGaubertb

* Le prénom a été modifié.

DERNIÈRES NOUVELLES



SUSUMU NISHINAGA/SCIENCE PHOTO LIBRARY

La formation de caillots sanguins dans des veines cérébrales est un effet secondaire très rare du vaccin AstraZeneca (ici une thrombose vue au microscope électronique).

Le mystère des thromboses vaccinales d'AstraZeneca

L'Agence européenne du médicament a identifié le 7 avril les cas de thrombose cérébrale comme un « *effet secondaire très rare* » du vaccin AstraZeneca. Un risque qui serait de l'ordre de 1/100 000 à 1/250 000 dans la population générale, mais qui n'a pas concerné les seniors jusqu'ici. Deux hypothèses sont envisagées pour expliquer le phénomène : une erreur dans l'injection propulsant le vaccin dans le sang ou, plus vraisemblablement, une réaction immunitaire inappropriée conduisant à la formation de caillots sanguins.

La contagiosité des asymptomatiques expliquée par les cellules de la bouche

Le Covid-19 infecte aussi les cellules de l'intérieur de la bouche, dont celles des gencives et des glandes salivaires. Cette présence du virus dans les tissus buccaux pourrait non seulement être impliquée dans la perte de goût, mais aussi dans la capacité des personnes asymptomatiques à transmettre le virus par la salive. Les chercheurs suggèrent même que l'infection orale pourrait jouer un rôle crucial dans l'évolution de la maladie : « *Lorsque la salive infectée est avalée ou que de minuscules particules sont inhalées, nous pensons qu'elle peut potentiellement transmettre le Sras-CoV-2 plus loin dans notre gorge, nos poumons ou même nos intestins* », précise Kevyn Byrd, coauteur de l'étude.

SOURCE : NI HUANG, WELLCOME SANGER INSTITUTE, ROYAUME-UNI.

Des effets à long terme pour un tiers des hospitalisés

Après une hospitalisation pour Covid-19, au moins un malade hospitalisé sur trois voit sa santé affectée de façon durable, avec des atteintes à différents organes et des problèmes d'ordre psychologique selon une vaste méta-analyse. Une urgence de santé publique encore sous-estimée selon les chercheurs qui pointent la fatigue intense, l'essoufflement, les douleurs articulaires, l'anxiété et la dépression comme les symptômes les plus fréquents chez les patients atteints de « Covid long ».

SOURCE : ANI NALBANDIAN, UNIVERSITÉ COLOMBIA, NEW YORK, ÉTATS-UNIS.

La Russie homologue le premier vaccin animal

Le Carnivac-Cov est le premier vaccin pour animaux autorisé contre le coronavirus Sras-CoV-2. Homologué par la Russie le 31 mars, il était testé depuis octobre sur des chats, des chiens, des renards roux et polaires. et des visons. Il sera réservé aux animaux carnivores, mais le communiqué russe annonce une « production de masse » dès ce mois d'avril. Il pourrait servir à éviter l'apparition d'éventuels réservoirs animaux du virus, en particulier dans les élevages de visons. ■

Hugo Jalinière

5 questions pour entretenir sa mémoire

Mieux la connaître pour améliorer ses performances et éviter son déclin avec l'âge : les bons réflexes existent. Alimentation, entraînements ou sommeil, revue des aides qui fonctionnent.

Environ 80 % de notre cerveau sont impliqués dans les processus de mémoire. Il aurait une capacité de stockage équivalente à 1 million de gigaoctets, un volume d'informations proche de celui du Web dans son ensemble !

1 Existe-t-il une limite d'âge ?

Tous les scientifiques s'accordent : le secret d'une bonne mémoire, c'est son utilisation fréquente. Il n'y a ni limite de stockage pour emmagasiner des informations, ni limite d'âge pour retrouver des souvenirs. Et plus on sollicite nos souvenirs, que ce soit pour effectuer une tâche ou se remémorer un événement, plus nos neurones établissent de connexions qui permettent d'aller piocher dans les différents compartiments de notre mémoire. Et ainsi, reconstituer l'information la plus fidèle et complète possible. Celle-ci sera d'autant plus accessible qu'elle sera remémorée de façon répétée.

« *Se rappeler fréquemment un savoir ou un souvenir revient à le réapprendre, ce qui est important pour consolider l'information dans notre cerveau*, explique Bernard Croisile, chef du service de neuropsychologie de l'Hôpital neurologique de Lyon et auteur de *Tout sur la mémoire* (Odile Jacob). *Le vrai secret de son fonctionnement est dans la répétition des apprentissages.* »

2 Quand faut-il s'alerter des oublis ?

Qu'il s'agisse d'un nom sur le bout de la langue ou de clés perdues, les pertes de mémoire passagères sont courantes et ne doivent pas affoler. 50 % des Français en rencontrent à 50 ans et 70 % à 70 ans. Ces « oublis » affectent d'ailleurs plus significativement certains types de souvenirs. La mémoire dite épisodique, qui rassemble l'essentiel de nos souvenirs personnels, serait la plus exposée. Nous la sollicitons en effet moins souvent au quotidien, et certaines connexions neuronales se détériorent avec le temps.

À l'inverse, les zones qui « logent » nos automatismes quotidiens (faire du vélo, calculer, ...) s'altèrent peu en vieillissant, tout comme celle qui rassemble nos savoirs encyclopédiques. Le psychologue américain Harry Bahrick a ainsi démontré que des personnes ayant appris l'espagnol dans leur jeunesse, se souviennent de 60 % des mots, vingt-cinq ans après, et jusqu'à 40 % au bout de cinquante ans !

La récurrence des oublis peut néanmoins constituer un motif d'inquiétude. Dans ce cas, mesurer ses capacités de mémorisation reste possible. Il existe pour cela des tests pratiqués en consultation chez le médecin généraliste ou dans l'un des 400 centres mémoire en hôpital. « *Tant que l'inquiétude vient du sujet lui-même, les pertes de mémoire sont généralement anodines*, témoigne Bernard Croisile. *Les alertes viennent davantage quand c'est l'entourage qui s'inquiète d'oublis ou de répétitions dont la personne n'a elle-même pas conscience.* »

Par Régis de Closets, avec Agence Forum News

3 Faut-il privilégier un certain régime alimentaire ?

Le cerveau est l'un de nos organes les plus gloutons, absorbant jusqu'à 30 % du glucose que l'on ingère. Il est donc important de lui apporter les bons nutriments. Éléments clés : les apports en vitamine C — qui favorise la communication entre neurones — et en vitamine D — qui stimule leur fabrication — ainsi que les oméga 3 et 6, le cerveau étant composé aux deux tiers d'acides gras. Le régime méditerranéen est souvent mis en avant pour ses apports variés et riches en oméga. En 2015, des chercheurs de la Rush University à Chicago (États-Unis) ont mis au point le régime *Mind* destiné à développer nos capacités cognitives : riche en légumes verts, baies et céréales complètes, il diminuerait en moyenne de 7 ans et demi l'âge cérébral (une notion essentielle selon l'étude).

Dans les faits, une consommation régulière de fruits et légumes, des apports en noix (riches en bonnes graisses) ou poissons gras suffisent à entretenir notre mémoire. À l'inverse, manger trop gras et sucré ainsi que se laisser aller au *snacking* peuvent avoir des effets délétères sur nos facultés de mémorisation. « *Des régimes trop riches en acides gras saturés agissent sur le cerveau, et en particulier sur l'hippocampe qui est une zone clé pour la mémoire* », atteste Guillaume Ferreira, chercheur au laboratoire NutriNeuro de Bordeaux. Ces effets seraient particulièrement dommageables à certaines périodes de la vie, notamment l'adolescence quand les circuits neuronaux ne sont pas encore matures.

50 %
Le taux de récupération dans les deux premières minutes d'un mot « que l'on a sur le bout de la langue ».
NEW SCHOOL FOR SOCIAL RESEARCH, ÉTATS-UNIS, 1999.

150 minutes
Le temps de sport hebdomadaire recommandé pour réduire les pertes cognitives.
ACADÉMIE AMÉRICAINE DE NEUROLOGIE.

200 000
nouveaux cas de maladie d'Alzheimer diagnostiqués chaque année en France
FONDATION ALZHEIMER.

PASIEKA/SPL/PHANIE

PUBLICITÉ

Télomères et longévité

En 2009, trois chercheurs américains se sont vu décerner le Prix Nobel de Médecine pour leurs travaux exceptionnels en biologie et génétique, qui ont permis la compréhension des mécanismes de protection de l'ADN au cœur des cellules.

Genèse d'une découverte

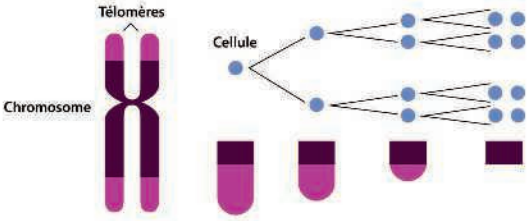
Le mot télomère vient du grec telos (fin) et meros (partie).

Dans les années 80, Elizabeth Blackburn est professeur de biologie à l'Université de Californie. Elle collabore avec Carol Greider, professeur de biologie moléculaire et Jack Szostak, professeur de génétique, afin d'étudier les mécanismes de protection et de réparation des chromosomes lors de la mitose cellulaire. Leurs travaux cherchent à expliquer comment les divisions cellulaires successives peuvent s'enchaîner sans que les chromosomes ne fusionnent entre eux ou ne s'abiment.

Mitose cellulaire et réplication des chromosomes

Les cellules de l'organisme se reproduisent régulièrement par un processus de division appelé mitose, la cellule initiale se scindant en deux cellules filles identiques qui contiennent le même matériel génétique. Il se produit pas moins de deux trillions de mitoses dans le corps humain chaque jour, ce qui permet de remplacer les cellules mortes ou abimées. Ce grand nombre fait supposer la survenue d'erreurs, c'est pourquoi les chercheurs ont émis l'hypothèse d'un système de protection des chromosomes.

Deux découvertes en une : télomères et télomérase



Les télomères raccourcissent à chaque division cellulaire

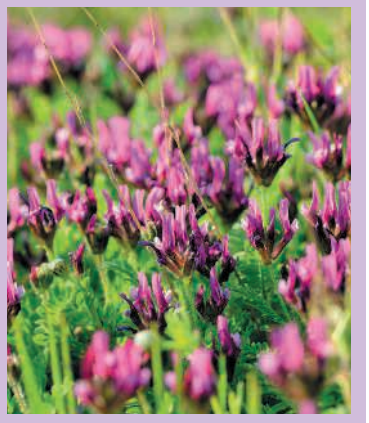
Situés aux extrémités de chaque chromosome, les télomères jouent un rôle de protection au moment de la séparation du matériel génétique. En effet à chaque division, ils raccourcissent légèrement, « sacrifiant » leur intégrité pour protéger celle des chromosomes. Le raccourcissement progressif des télomères finit par provoquer la mort de la cellule, appelée sénescence.

Les trois scientifiques ont également identifié une enzyme, baptisée télomérase, capable de rallonger les télomères et donc de prolonger la vie des cellules. Ils ont remarqué que cette enzyme n'était active que dans les cellules souches et germinales.

Plus le nombre de de cellules sénescentes est grand, plus le vieillissement de l'organisme accélère : la longévité est donc directement liée à la longueur des télomères.

Astragale et télomères,

Des scientifiques se sont intéressés à la racine de l'Astragalus membranaceus, une petite fleur très utilisée en médecine traditionnelle comme tonifiant et immunostimulant. Ils ont mis en évidence que ses propriétés étaient dues à deux composés, appelés cycloastragenol et astragaloside IV, qui avaient la capacité de réactiver la télomérase dans les cellules. Après plusieurs années de développement, le laboratoire français PhytoResearch a mis au point une formule naturelle basée sur les résultats de ces avancées scientifiques. Telomerys associe un extrait concentré de racine d'Astragalus membranaceus à du resvératrol, un puissant antioxydant, ainsi que des vitamines A, C et E. Formule anti-âge inédite, deux gélules par jour suffisent pour constater une diminution significative des rides, une amélioration des fonctions cognitives (mémoire, concentration) et un regain d'énergie.



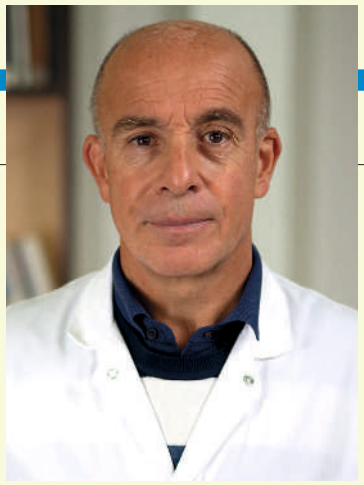
Disponible en pharmacie et espace diététique

Telomerys
60 gélules végétales
ACL 6024256
Des questions ?
Les experts du Laboratoire PhytoResearch sont à votre écoute au 01 85 41 32 82 (tarif local) et sur **www.telomerys.com**.

L'AVIS DE L'EXPERT

PIERRE-MARIE LLEDO CHEF DE L'UNITÉ PERCEPTION ET MÉMOIRE À L'INSTITUT PASTEUR ET DIRECTEUR DU LABORATOIRE GÈNES ET COGNITION AU CNRS

« Avec le numérique, notre cerveau apprend à travailler différemment »


JEREMY BARANDE

Le recours aux outils numériques dans notre vie quotidienne peut-il transformer nos capacités de mémorisation ?
Le cerveau est le seul organe du corps humain à être modifié par son usage. L'invention de l'écriture ou de l'imprimerie ont fait évoluer ses mécanismes d'apprentissage et de mémorisation. Ce sera également le cas avec ces outils numériques. En faisant appel à eux, nous n'avons plus besoin d'apprendre par cœur ce que l'on retrouve en ligne. Il ne faut pas y voir une perte de capacités, mais une transformation de notre faculté à retenir. Ces tâches qui s'automatisent permettent de mieux nous concentrer sur notre entourage. Le cerveau apprend à travailler différemment…

Comment notre mémoire est-elle affectée par ces environnements numériques ?
Certains types de mémoires vont être plus sollicités. Quand vous cherchez une donnée sur Internet, le moteur de recherche va la trouver pour vous. Néanmoins, vous avez formulé une requête pour cela. La mémoire dite de travail, celle qui gère les apprentissages à court terme, est donc moins sollicitée mais la mémoire procédurale, celle qui formalise la demande, est plus active… On devrait également voir se développer de nouvelles formes d'interactions sociales « connectées », or la sociabilité est importante pour notre santé cognitive. Enfin, ces outils aident à sécuriser nos capacités de mémorisation. Or, on sait qu'avec l'âge, nous avons moins confiance en notre faculté à bien nous souvenir…

Vous mettez pourtant en garde contre l'afflux constant d'informations sur Internet. En quoi est-ce un problème ?
Vivre dans la sollicitation et saturation d'informations restreint le temps dit de repos de notre cerveau. Pourtant, ce temps est essentiel : le mode « par défaut » (inactif), quand le cerveau n'interfère pas ou peu avec l'extérieur, consomme près de 80 % de l'énergie nécessaire à cet organe. Ce n'est pas un temps d'apprentissage en soi, mais un temps où l'on entretient notre capacité à apprendre. La trop grande dépendance aux écrans peut altérer ce temps de « pensées vagabondes » si nécessaire à la gestion de l'information et à la prise de décision. ■

Propos recueillis par R. de C.

Pierre-Marie Lledo est l'auteur du *Cerveau, la machine et l'humain* (Odile Jacob).

4 Bien dormir aide-t-il à mieux se souvenir ?

Le sommeil est l'autre allié d'une bonne mémorisation. Si l'intégration d'une information dans notre mémoire se fait dans l'heure qui suit son enregistrement, c'est durant la nuit que le cerveau consolide les acquis de la journée, en les triant et les intégrant dans la mémoire à long terme.
« *On sait aujourd'hui que le sommeil est le temps d'un intense échange entre le cortex préfrontal et l'hippocampe visant à traiter et mémoriser les informations*, explique Géraldine Rauchs, chercheuse Inserm au Laboratoire de neuropsychologie et imagerie de la mémoire humaine. *À chaque phase de sommeil, correspond un traitement spécifique des informations sans que l'on ne puisse encore préciser quelles phases consolident quels souvenirs.* »
Une chose est sûre : une bonne nuit de sommeil constitue la garantie d'une mémoire bien entretenue !

5 Faut-il croire aux vertus des entraînements cognitifs ?

Si ces jeux « intelligents » rencontrent un succès croissant (jusqu'à 10 millions d'utilisateurs dans le monde pour des applis phares comme Peak ou Neuronation), leurs effets réels laissent encore sceptiques les chercheurs. Une étude de l'université de l'Illinois (États-Unis) a passé en revue 374 de ces applis, concluant au faible apport sur nos capacités globales de mémorisation. « *Le problème est lié à la "transférabilité"* des apprentissages, explique Charlie Wilson, chercheur à l'institut Cellule souche et cerveau de l'Inserm. *Ces jeux améliorent nos capacités cognitives sur les tâches spécifiques proposées (comme en calcul mental), mais ils ne stimulent pas les processus qui nous apprennent à apprendre.* »
Pour preuve : les chercheurs de l'université de l'Illinois ont soumis pendant 230 heures une personne à l'apprentissage d'une série de 79 chiffres — avec succès. En revanche, quand il lui a fallu retenir seulement une série de 6 lettres, les résultats n'ont enregistré aucune amélioration.
Pour doper les performances de leurs outils cognitifs, les fabricants proposent de nouvelles approches comme l'ESC (entraînement sportif cognitif) qui couple exercices physiques et entraînements cognitifs. Les scientifiques, eux, préconisent des alternatives plus simples comme le jardinage, la lecture ou la méditation — particulièrement efficace pour améliorer la plasticité cérébrale. ■

ÉVÉNEMENT 2021
EXPOSITION UNIVERSELLE DUBAI

Sciences et Avenir vous convie à une croisière unique, à l'occasion de l'exposition universelle de 2021 à Dubaï.

L'événement promet en effet d'être sans précédent, et pas seulement parce qu'il s'agit d'une première dans la région Moyen-Orient, Afrique, où 180 pays se retrouveront ainsi rassemblés. Son thème, qui appelle à « **Construire le futur** » est en parfaite résonance avec la ligne éditoriale de Sciences et Avenir. Il projette en effet dans l'avenir, avec toutes les interrogations majeures du présent : quelles sciences (climatologie, génétique, intelligence artificielle...) pour assurer une économie et une société durables ? Quelles nouvelles technologies pour la mobilité, entre avions, fusées mais aussi trottinettes ! Quelles opportunités nouvelles voyons-nous surgir ? Notre futur promet d'être, en effet, celui que nous voulons bâtir, fort de nos héritages, mais aussi en phase avec la modernité. Ici, l'invitation à « connecter les esprits ». Ces promesses d'avancées, nous les analyserons avec des scientifiques, des économistes, des spécialistes de géopolitique et de nouvelles technologies, de très haut niveau. Et ce, lors d'une croisière étonnante, faisant étape à Dubaï et au Pavillon Français de l'Exposition Universelle, mais aussi à Abu Dhabi et son musée du Louvre, ou encore en visitant la Rose des Sables, musée du Qatar à Doha... Des découvertes et des rencontres passionnantes en perspective.

Dominique LEGLU
Directrice éditoriale

AVEC VOUS À BORD !
Les conférenciers

Mikaa MERED
Professeur de géopolitique, observateur et analyste des Emirats Arabes, spécialiste des pôles et de l'hydrogène.

Marie-Christine de WARENGHIEN
Incontournable pour les architectours à Dubai & Abu Dhabi.

Jean-François CLERVOY
Astronaute français. Président de Novespace, filiale du Centre national d'Etudes spatiales (CNES).

SCIENCES ET AVENIR

Challenges

CROISIÈRE
LA MAGIE DES EMIRATS

10 JOURS / 7 NUITS
DU 26 NOV. AU 05 DEC. 2021
A BORD DU MSC VIRTUOSA

- 1 JOUR À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE DUBAI
- ENTRÉES FAST TRACK
- VISITE DU PAVILLON FRANÇAIS
  Conférence et cocktail dinatoire (sous réserve de confirmation)
- EXCLUSIVITÉ : L'ARCHITECTOURS À DUBAI ET ABU DHABI.
  Présence de votre spécialiste Marie-Christine de WARENGHIEN
- VISITE GUIDÉE MUSÉE DU LOUVRE ABU DHABI
  Œuvre de Jean Nouvel
- VISITE DE LA MOSQUÉE D'ABU DHABI,
  assistez au coucher du soleil, illuminations le soir
- VISITE DU PALAIS PRÉSIDENTIEL À ABU DHABI
- VISITE DU MUSÉE LA ROSE DES VENTS À DOHA
  Œuvre de Jean Nouvel
- VISITE DE LA BURJ EL KHALIFA
  LA TOUR LA PLUS HAUTE DU MONDE À DUBAI
- BOISSONS À TABLE INCLUSES ET FORFAIT SÉJOUR À BORD

À PARTIR DE
2 790 €/PERS.
Au départ de Paris - En tout inclus

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :
BLEU VOYAGES
213 rue de Gerland - Bat 2 - 69007 LYON
TÉL. 04 72 76 75 66
www.expo2021.fr

Selectour Bleu Voyages MSC CROISIÈRES

Neige et Soleil Voyages SAS au capital de 396 800 € • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766 • Code APE 7911 Z • Immatriculation Atout France 038110038 • Agence garantie par l'APST • 15 Avenue Carnot - 75017 Paris • Agence assurée pour sa responsabilité civile et professionnelle par le groupe MMA Entreprises n° de contrat 144569079.

L'eau, ça ne coule pas toujours de source

Robinet ou bouteille ? De source ou minérale ? Gazeuse ou plate ? Filtrée ou non ? L'eau, ce n'est pas si simple. Ce qu'il faut savoir pour faire le bon choix.

BIEN SÛR, L'EAU EST INDISPENSABLE à notre santé. Et pour cause, elle constitue 60 % de notre corps. Elle est essentielle pour maintenir sa température, assurer la bonne circulation du sang, l'oxygénation des cellules et l'élimination des déchets. Mais nous en perdons aussi une partie — entre 2 et 2,5 l — au cours de la journée. Une perte qu'il faut compenser par des apports, contenus dans l'alimentation (environ 1 l) ou sous forme de boissons (1,5 l).

L'eau du robinet, une boisson très contrôlée...

62 % de l'eau potable provient de ressources souterraines (source ou nappe profonde) et 38 % d'eaux de surface (fleuves, rivières, lacs) (1). Depuis son captage jusqu'au consommateur, elle fait l'objet d'un contrôle sanitaire régulier (18 millions d'analyses chaque année en France) (2) et doit répondre à près de 70 critères de qualité, parmi lesquels la saveur, l'absence de substances toxiques (plomb, arsenic...), de germes pathogènes, etc. L'eau potable apporte aussi des sels minéraux et des oligoéléments dont elle s'est chargée au contact des sols et des roches : du calcium et du magnésium sous forme de carbonates, du fluor (dont la teneur est limitée à 1,5 mg/l car un apport excessif peut provoquer une fluorose, une altération des dents et des os).

65 %

des Français déclarent boire de l'eau du robinet presque tous les jours, 51 % préfèrent néanmoins l'eau en bouteille et 73 % sont des buveurs mixtes.

(SOURCE : TNS-SOFFRES/CIEAU, 2019.)

... mais pas totalement exempte de pesticides

En 2018, 90,6 % de la population a été alimentée en permanence par de l'eau respectant les limites de qualité réglementaires pour les pesticides (0,1 microgramme par litre et par molécule au maximum) (3). Ce qui signifie que près d'un Français sur dix consomme — parfois temporairement — une eau dépassant ces seuils. Après avoir décortiqué les analyses effectuées en 2019 par les agences régionales de santé (ARS), qui contrôlent la qualité de l'eau du robinet, l'association environnementale Générations futures a pointé du doigt la présence de molécules cancérogènes mutagènes reprotoxiques (CMR) et des perturbateurs endocriniens. Or, ces molécules peuvent agir à très faibles doses et produire un effet même quand leur quantité ne dépasse pas la limite légale, craint l'association (4).

Sans compter que dans certaines régions françaises (Bretagne, Centre-Val de Loire, Pays de la Loire, Nouvelle-Aquitaine), les eaux des réseaux de distri-

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE

MINÉRAUX ET OLIGOÉLÉMENTS Substances minérales formées naturellement dans les roches et présentes en très faibles quantités dans l'organisme.

EAU MINÉRALE GAZÉIFIÉE Eau plate provenant de différentes sources, à laquelle on a ajouté du gaz carbonique sous pression en usine au moment de l'embouteillage. *A contrario*, l'eau pétillante contient naturellement du dioxyde de carbone.

MICROPLASTIQUES Particules de matières plastiques dont la taille est inférieure à 5 mm. Ce déchet s'accumule dans les sols, les cours d'eau, les lacs et les océans, et se retrouve ainsi dans la chaîne alimentaire.

bution dépassent la norme de 50 milligrammes par litre (mg/l) de nitrates et ne doivent être bues ni par les femmes enceintes ni par les nourrissons.

L'eau osmosée privée de ses minéraux

Présentes sur les tables depuis les années 1990, les carafes à filtre sont composées d'une cartouche à charbon qui absorbe le chlore, le cuivre et le plomb. Toutefois, selon l'Agence nationale de sécurité sanitaire des aliments (Anses), leur efficacité d'absorption n'est pas toujours démontrée. En outre, l'Anses rappelle que les cartouches doivent être régulièrement renouvelées et l'eau consommée dans les 24 heures afin de réduire le risque de contamination microbiologique (5).
La technologie des osmoseurs qui se placent sous l'évier est différente : elle repose sur le principe de l'osmose inverse qui consiste à ne laisser passer que les molécules d'eau. Ces appareils filtrent les pesticides, les nitrates et le plomb de l'eau du robinet. Problème, comme pour les eaux osmosées disponibles dans certains magasins bio, l'eau est ainsi débarrassée de ses précieux minéraux (calcium, magnésium) (6).

Les eaux gazeuses ne conviennent pas à tout le monde

Répondant aux mêmes critères bactériologiques et physicochimiques que celles des réseaux de distribution, les eaux embouteillées ne nécessitent pas de traitement particulier comme la chloration. Prudence en cas d'hypertension, car certaines eaux pétillantes ou gazéifiées (Saint-Yorre, Vichy Célestins) sont particulièrement riches en sodium. En consommer en excès peut aussi occasionner des ballonnements gastriques. À noter qu'une bouteille d'eau doit être consommée dans les 48 heures après ouverture pour éviter le développement de micro-organismes.

Des traces de microplastiques dans l'eau en bouteille

Le magazine *Que Choisir* a réalisé des analyses sur 20 marques d'eau en bouteille vendues en France, et à titre de comparaison, sur l'eau du robinet. Les résultats sont plutôt rassurants : aucun microplastique n'a été détecté dans l'eau du robinet, pas plus que dans 11 marques d'eau en bouteille. Les neuf autres n'en contenaient qu'à l'état de traces (1 microfibre par litre au maximum) (7). Pourtant, dans une autre étude sur 34 eaux minérales, des chercheurs allemands ont découvert qu'elles étaient contaminées en moyenne par 118 particules de microplastiques (polyester et polypropylène) par litre. Ce qui peut s'expliquer en partie par le fait qu'en Allemagne, les bouteilles en plastique sont consignées et réutilisées. Néanmoins, celles des bouteilles en plastique à usage unique en comptaient 14 (8).

Certaines eaux aromatisées sont trop sucrées

Ces eaux minérales naturelles ou à l'eau de source, plates ou gazeuses, sont additionnées d'arômes naturels ou de synthèse (l'étiquette mentionne juste « arôme ») mais parfois aussi de jus de fruits concentré (*juicy*). Dans ce cas, elles affichent en moyenne une teneur de 5 % en sucre. Mieux vaut donc privilégier les eaux non sucrées ou s'orienter vers une eau aromatisée faite « maison ». À éviter aussi celles qui contiennent des additifs, que ce soit des édulcorants, des conservateurs ou des colorants. ■

Sylvie Boistard
@Syboistard

PR JACQUES HUBERT Chef du service d'urologie au CHU de Nancy

Pas d'eau fortement minéralisée en continu sans avis médical

« Un adulte doit boire 1,5 l d'eau par jour, voire 1,7 l chez les personnes âgées. Les eaux de source ou faiblement minéralisées (Évian, Volvic) conviennent bien à un usage quotidien et sur le long terme, mais certaines peuvent aussi apporter des bénéfices ponctuels selon leur composition physico-chimique. Ainsi les eaux minérales sulfatées (teneur en SO_4 > à 200 mg/l) telles Hépar permettent de lutter contre la constipation. Les eaux riches en magnésium (Mg^{2+} supérieure à 50 mg/l) (Rozana, Quézac) auraient un effet antistress et antifatigue mais des apports excessifs sont contre-indiqués en cas d'insuffisance rénale. Enfin, les eaux calciques (Ca^{2+} > à 150 mg/l) (La Salvetat, Contrex) permettent d'aider à couvrir les besoins journaliers (800 à 1000 mg/j) en calcium chez les personnes peu amatrices de laitages. »

(1) Centre de l'information sur l'eau.

(2) Direction générale de la santé, 2018.

(3) Bilan de la qualité de l'eau du robinet vis-à-vis des pesticides, ministère de la Santé, 2019.

(4) Des pesticides perturbateurs endocriniens, cancérogènes mutagènes et reprotoxiques dans l'eau du robinet en France en 2019, Générations futures, juin 2020.

(5) Avis relatif à l'évaluation de l'innocuité et l'efficacité des carafes filtrantes, Anses, 2016.

(6) Naturel, l'envers du décor, *60 Millions de consommateurs*, août 2018.

(7) Eau en bouteilles ou du robinet. Faut-il s'inquiéter des microplastiques ? *Que choisir*, février 2019.

(8) Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy : Release of plastic particles from different packaging into mineral water, Schymanski D. et al, *Water Research*, 2018.

Napoléon, les sciences en majesté

Passionné par les techniques, la physique, les mathématiques et les innovations dans tous les domaines, l'Empereur — dont on commémorele 5 mai le bicentenaire de la mort — accordera une place de choix aux savants tout au long de son règne.

Par Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

SELVA/LEEMAGE

Le physicien Alessandro Volta présente sa pile électrique à Napoléon en 1801.

PVDE/BRIDGEMANIMAGES/LEEMAGE

Le télégraphe de Chappe permettait de relier les régions les plus éloignées de l'Empire.

« Beaucoup de science, autant d'intelligence *et trop de bravoure, voilà une faible esquisse de ce rare officier.* » C'est en ces termes que s'exprimait, visionnaire, le général du Teil de Beaumont en évoquant le jeune Bonaparte, au lendemain de la prise de Toulon, face aux Anglais, en décembre 1793. Toute sa vie et dès son plus jeune âge, au collège militaire de Brienne-le-Château (Aube), Napoléon s'est passionné pour les sciences et leur potentiel dans une époque qui leur était particulièrement favorable. *« La France napoléonienne est un empire des sciences, dominant l'Europe à un point qu'il est difficile d'imaginer aujourd'hui »*, écrivait en 2015 le chimiste et historien Éric Sartori dans son livre *L'Empire des sciences, Napoléon et ses savants*. La nation était héritière des Lumières et de grands noms régnaient sur leur disciple : Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), sur l'astronomie, la physique et les mathématiques ; l'abbé René Just Haüy (1743-1822), sur la minéralogie et la cristallographie ; François Arago (1786-1853) sur la lumière et le son ; tandis que Bernard-Germain de Lacépède (1756-1825) et Louis Jean-Marie Daubenton (1716-1799) poursui-

JOSSE/LEEMAGE

JOSSE/LEEMAGE

167 savants accompagnent l'armée lors de l'expédition d'Égypte (1798-1801) menée par le général Bonaparte. Les relevés s'enchaînent alors dans les tombeaux et les temples. La mise au jour de la pierre de Rosette et son déchiffrage ultérieur par Champollion marquent ainsi les débuts de l'égyptologie.

vaient l'œuvre du naturaliste Buffon. Et tous étaient soutenus par Napoléon.

S'il suit de près les avancées des recherches de ses amis physiciens et mathématiciens, celui-ci est tout aussi attentif aux innovations. Ainsi, la construction de tel moulin, machine à extraction minière ou les travaux de cartographie retiennent son attention. La levée du plan des bouches de Kotor, au Monténégro, en est un bel exemple. Pour savoir si des vaisseaux de guerre pouvaient mouiller le long des côtes de l'Adriatique, Napoléon demande aux ingénieurs des ponts et chaussées et du génie militaire de réaliser des plans d'une précision extraordinaire. La carte de 4 mètres sur 2 demeure admirablement conservée. Elle restitue les données topographiques prises par les ingénieurs hydrographes en sondant les fonds sous-marins. « *Un bon croquis vaut mieux qu'un long discours* », disait l'homme pressé. Ce dont témoignent ces plans et cartes conservés dans les fonds de la secrétairerie d'État impériale et qui font l'objet de l'exposition « Dessiner pour Napoléon » présentée jusqu'au 19 juillet aux Archives nationales, à Paris, dans le cadre de la commémoration du bicentenaire de la mort de l'Empereur.

Dirigée par Hugues-Bernard Maret (1763-1839), duc de Bassano, la secrétairerie d'État est un rouage essentiel de l'administration napoléonienne. C'est là où sont sauvegardés tous les projets concernant les communications, la croissance économique et les aménagements urbains. Ceux mis en œuvre ou planifiés pour développer la France et la relever des guerres et de la Révolution. Fourmillant d'innovations, ils sont tous immanquablement présentés à Napoléon. Rien n'échappe à l'Empereur, à la tête d'un État centralisé à l'organisation pyramidale. « *On sait qu'il dormait peu, qu'il était tenu au courant de tout et*

RÉMI CHAMPSEIT/ARCHIVES NATIONALES

La Roche-sur-Yon, chef-lieu de la Vendée, est fondée par Napoléon en 1804. La ville est construite sur un plan en damier avec sa préfecture, des lycées, des casernes, un hôpital...

que tous ces plans passaient entre ses mains. Même quand il était sur les champs de bataille. Y compris pendant la campagne de Russie ! Des ordonnances traversaient toute l'Europe pour les lui apporter ! », raconte Marie Ranquet, commissaire de l'exposition. Hugues-Bernard Maret puis son successeur, Pierre Daru (1767-1829), rassemblaient pour l'empereur toutes les informations provenant des quatre coins de l'Empire. Il en était de même pour ses lectures scientifiques. Alors que Napoléon se trouve à Vitebsk (Biélorussie), au début de la campagne de Russie, en juillet 1812, il reçoit de son ami Laplace son *Calcul des probabilités*. Quelles que soient les situations, Napoléon ne se déplaçait jamais sans ses « bibliothèques volantes ».

Parmi les innovations que l'Empereur saura exploiter et développer, se trouve par exemple le télégraphe optique de Claude Chappe (1763-1805), mis en place dès 1794 entre Lille et Paris. Il permettait de transmettre des informations rapidement jusqu'aux régions les plus éloignées de l'Empire grâce à un réseau de sémaphores.

On peut citer aussi son intérêt pour les aérostats *(lire l'encadré ci-dessus)*, apparus en 1783. La maquette d'un projet de machine aérostatique avec ses haubans et nacelle a d'ailleurs pu être reconstituée par l'atelier Pras, société spécialisée dans la restitution de prototypes, dans le cadre de l'exposition parisienne, à partir des mesures très précises des ingénieurs de l'époque. *« Aucune n'a été retouchée,* insiste Marie Ranquet. *Tous les éléments de l'aérostat reconstitués en 3D se sont parfaitement emboîtés ! »*

Où qu'il aille, Napoléon s'entoure toujours d'hommes de science, et jamais les savants ne furent autant honorés (ni si bien rémunérés) que sous son règne. *« Il considérait que les découvertes étaient un moyen de faire rayonner la France, et la science et la technologie un moyen d'améliorer la vie du peuple français »*, précise Marie Ranquet. De nombreux scientifiques sont en effet à l'origine de la naissance de la puissance industrielle de la France post-révolutionnaire, où des récompenses financent les innovations. Dès 1801, se crée la Société d'encouragement pour l'industrie nationale qui vise à rassembler les élites savantes autour d'un projet de développement industriel.

C'est donc tout naturellement que Napoléon confie aussi aux élites scientifiques les plus hautes fonctions politiques. Le chimiste Antoine-François Fourcroy (1755-1809) devient directeur géné-

MÉDECINE

Un partisan de la vaccination

Si les mathématiques étaient la grande passion de Napoléon, l'empereur était aussi très ouvert à la médecine. Il n'avait pas peur des pestiférés : on dit qu'il s'approchait des malades gravement atteints sans la moindre hésitation. Il soutenait ouvertement la vaccination : en 1811, il fit ainsi vacciner son fils, le roi de Rome, à peine âgé de 2 mois, contre ce fléau qu'était alors la variole.

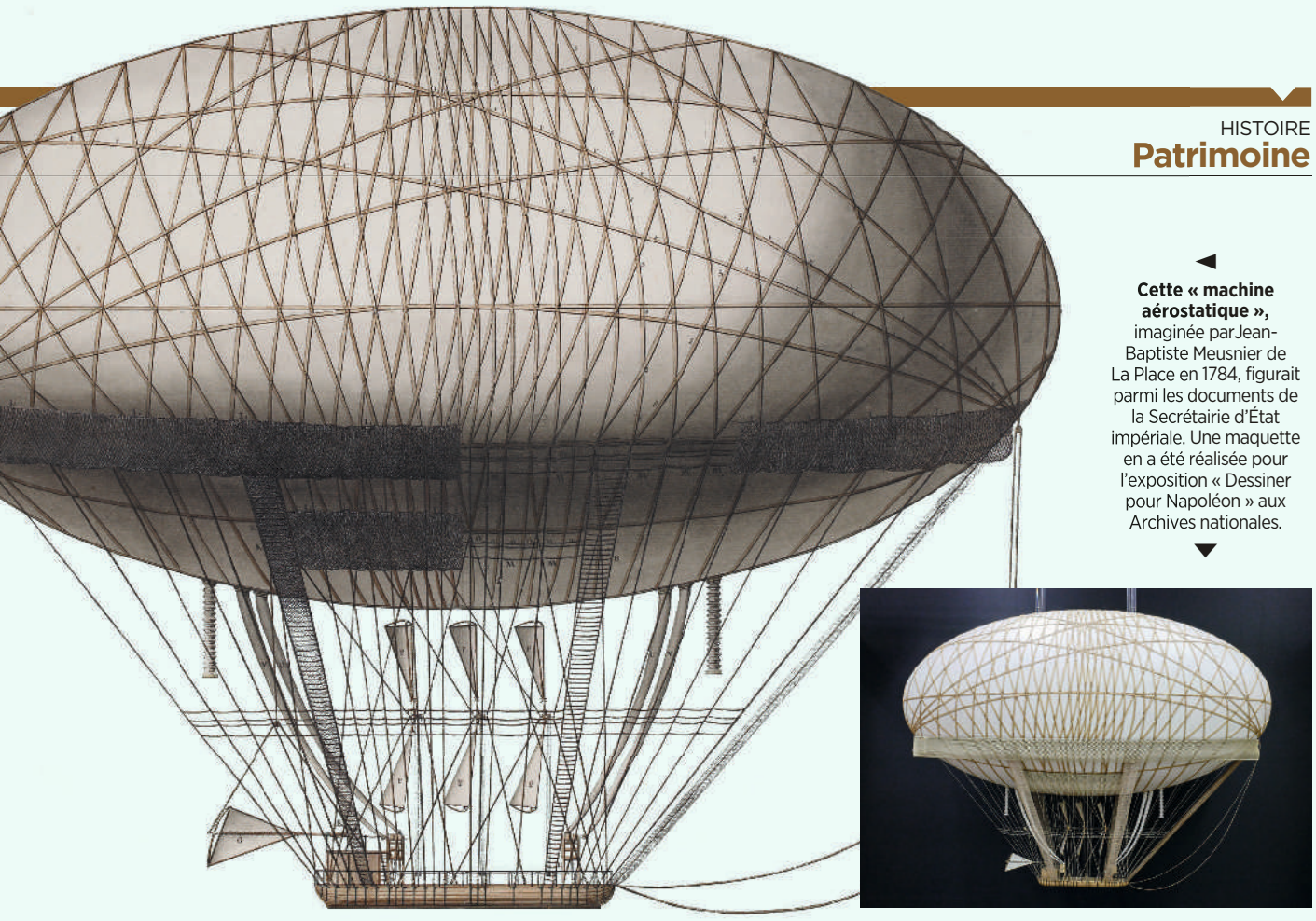
AÉROSTATION

L'envol des ballons

Avec le vol en ballon des frères Montgolfier, en 1783, l'être humain s'élève dans les airs pour la première fois. Très vite, des savants vont chercher à améliorer l'aérostation. Des projets de machines volantes se multiplient, encouragés par les avancées scientifiques. Dès 1784, un jeune officier du génie, Jean-Baptiste Meusnier de La Place, propose à l'Académie des sciences une machine en forme de ballon de rugby, dotée d'une nacelle et d'hélices pour en contrôler les déplacements.

Les montgolfières, premiers aérostats, sont en effet difficilement manœuvrables (c'est même leur problème principal), ce qui compromet leur utilisation comme moyen de transport. Gaspard Monge, en 1808, déconseillera ainsi à Napoléon de donner suite au projet, irréaliste, d'invasion de l'Angleterre par 100 aérostats proposé par l'ingénieur Nicolas Lhomond...

Les applications militaires de l'invention se résumeront à l'utilisation de ballons captifs pour observer le champ de bataille. Il faudra attendre la fin du XIXe siècle pour voir manœuvrer les premiers dirigeables et naître véritablement l'aéronautique.



Cette « machine aérostatique », imaginée par Jean-Baptiste Meusnier de La Place en 1784, figurait parmi les documents de la Secrétairie d'État impériale. Une maquette en a été réalisée pour l'exposition « Dessiner pour Napoléon » aux Archives nationales.

ARCHIVES NATIONALES - ATELIER PRAS

ral de l'Instruction publique et conseiller d'État ; Jean-Antoine Chaptal (1756-1832), chimiste également, ministre de l'Intérieur sous le consulat ; le mathématicien Joseph Fourier (1768-1830), plus célèbre pour ses « transformées » (la représentation en fréquence de signaux non périodiques), désigné pour accompagner l'expédition en Égypte (1798-1801) sera nommé en 1802 préfet de l'Isère où il créera l'université de Grenoble. Cette campagne fut d'ailleurs l'une des plus extraordinaires expéditions scientifiques menées par la France et dont le relatif échec militaire fut éclipsé par le nombre incroyable de découvertes effectuées par les 167 savants français de la Commission des sciences et des arts qui accompagnèrent le général Bonaparte sur les rives du Nil. Le tout sera compilé dans les 23 volumes de la *Description de l'Égypte*, l'une des œuvres les plus monumentales jamais réalisées.

L'urbanisme n'échappe pas à son désir de nouveauté

Démographie, géographie, ressources agricoles et minières… « *Napoléon voulait tout savoir et tout contrôler* », poursuit Marie Ranquet. Pas seulement par calcul politique. Essentiellement par goût. Et pour lui, gouverner n'est possible qu'avec une connaissance fine du territoire. Pour que les armées puissent passer, il fait tracer ou améliorer des routes, comme celle du col du Simplon, dans les Alpes, construire des ponts, creuser des tunnels, ou des canaux, suivant en personne tous les travaux. Certains plans conservés à Paris possèdent encore des annotations de la main de Napoléon : « *demander le devis* », peut-on lire sur l'un d'eux.

L'urbanisme et l'architecture ne sont pas oubliés. Plusieurs cartes montrent comment certaines villes devaient être complètement transformées. Ainsi, Pontivy, dans le Morbihan, qui fut rebaptisée Napoléonville ! Selon l'historien Éric Sartori, « *après la chute de l'Empire, Napoléon rêva de partir pour l'Amérique afin d'y commencer une carrière de géophysicien voyageur à l'image de celle d'Alexander von Humboldt. Mais c'est à Sainte-Hélène qu'il finira ses jours, non sans y avoir emporté* l'Histoire naturelle *de Buffon,* l'Astronomie *de Delambre, les traités de cosmogonie d'Haüy, ceux de chimie de Fourcroy ainsi que le cours de Lacroix, qu'il annota de sa main.* » ■

N. DION/ARCHIVES NATIONALES

« Tous les plans passaient entre ses mains. Même quand il était sur les champs de bataille »

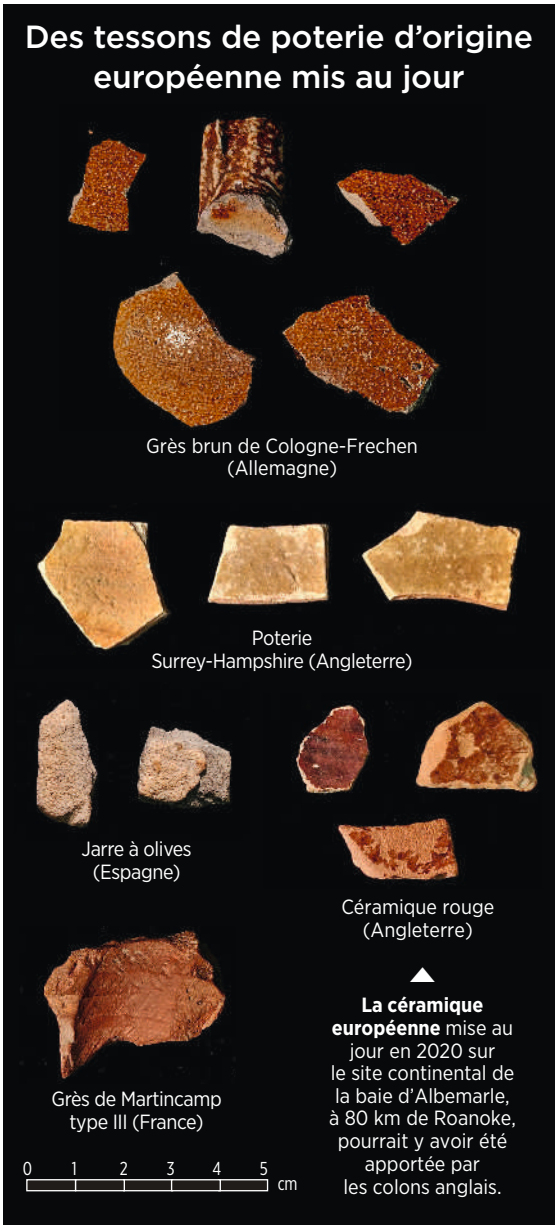
Marie Ranquet, conservatrice du patrimoine aux Archives nationales, à Paris, commissaire de l'exposition « Dessiner pour Napoléon »

À la recherche des premiers colons anglais en Amérique

Pourquoi le campement établi en 1587 sur l'île de Roanoke, dans l'actuelle Caroline du Nord, a-t-il été abandonné ? De nouvelles découvertes archéologiques aident à percer ce mystère.

C'est l'une des énigmes les plus tenaces de l'histoire des États-Unis, et elle se trouve à son exact commencement : en 1587, les tout premiers colons venus d'Angleterre se volatilisèrent sans laisser de trace de l'île de Roanoke, en actuelle Caroline du Nord. Quatre cent trente-cinq ans après la disparition de cette « Colonie perdue », l'un des mystères les plus célèbres de l'histoire américaine est peut-être en passe de s'éclaircir. Selon les archéologues de la First Colony Foundation, une organisation à but non lucratif qui a achevé de nouvelles fouilles à 80 km à l'ouest de l'île en 2020, il semblerait de plus en plus probable que la première vague de colons anglais sur le continent américain a en réalité poursuivi sa vie dans l'actuel comté de Bertie après son évaporation du campement initial.

L'équipe menée par l'archéologue américain Nicholas Luccketti a en effet déterré sur une falaise surplombant la baie d'Albermarle, surnommé « site Y », de nombreux fragments de poteries anglaises, espagnoles, allemandes et françaises, qui constitueraient selon elle des preuves que le site était habité par plusieurs membres de la colonie après 1590, année du constat de sa disparition par le royaume d'Angleterre. Entre 2015 et 2017, un ensemble d'objets de fabrication humaine (« artefacts »), parmi lesquels une poignée d'épée, des bols cassés et un fragment de tablette en ardoise, avait également été mis au jour à trois kilomètres de là, sur le « site X », situé sur l'île Hatteras. Des fouilles réalisées par une autre équipe, celle de Mark Horton, archéologue à l'université de Bristol (Royaume-Uni). Déjà à l'époque, Mark Horton avait soutenu que ces vestiges renforçaient considérablement la thèse selon laquelle les membres disparus de la colonie anglaise s'étaient en réalité assimilés aux tribus amérindiennes des environs, tout en conservant leurs biens.



NICHOLAS LUCCKETTI

Un campement rangé et d'étranges inscriptions

Pour comprendre ce qu'impliquent ces découvertes et affirmations, rappelons la triste histoire de ces tout premiers colons britanniques, débarqués sur la côte nord-américaine pour peupler le Nouveau Monde. En 1585, sir Walter Raleigh, chef de guerre, navigateur, poète et favori de la reine Élisabeth Ire, obtint l'autorisation d'implanter une colonie de l'autre côté de l'Atlantique pour répondre aux Espagnols, présents sur le continent depuis plus de cinquante ans déjà. Trois navires quittèrent l'Angleterre en 1587 pour la Virginie, ainsi nommée en l'honneur de la reine Élisabeth, la « reine vierge ». À leur bord, se massaient 110 colons, dont 18 femmes, principalement des artisans et des paysans, qui se virent remettre chacun 200 hectares de terrain à leur arrivée.

Les colons se seraient en fait assimilés aux colonies amérindiennes des environs (ici, leur arrivée en 1587 sur l'île de Roanoke, gravure du XVIe siècle).

BRIDGEMAN IMAGES/LEEMAGE

Un certain John White fut nommé par Walter Raleigh pour diriger l'expédition et gouverner la colonie. John White n'hésita pas à embarquer avec lui sa fille Eleanor, enceinte. Son petit-fils ou sa petite-fille devait ainsi devenir le premier citoyen anglais à naître sur le sol américain. En juillet 1587, les bateaux accostèrent à Roanoke, une île en réalité bien trop hostile pour y implanter un village. À la merci des tempêtes, cette zone est encore aujourd'hui surnommée « le cimetière de l'Atlantique » ! À peine un mois plus tard, en manque de vivres, John White fut contraint d'aller chercher du renfort en Angleterre en laissant derrière lui sa fille et sa petite-fille, Virginia, née quelques jours auparavant. Il ne pourra revenir malheureusement que trois ans plus tard, la guerre avec l'Espagne ayant fini par éclater à son arrivée en Angleterre : impossible de mobiliser ne serait-ce qu'un seul navire pour une poignée de colons en temps de conflit. C'est ainsi seulement le 18 août 1590 que John White parvint à fouler à nouveau le sol de Roanoke. Mais il trouva le campement désert, et comme rangé avant un départ. Détail étrange : les inscriptions « Croatoan » et « Cro » avaient été respectivement gravées sur un poteau du côté extérieur de la palissade et sur un arbre. « Croatoan »... qui n'est autre que l'ancien nom de l'île Hatteras et du peuple natif qui l'habitait. Depuis les théories sur le devenir de ces hommes et ces femmes laissés sans ressources durant trois années n'ont cessé de se multiplier *(lire l'encadré p. 84)*. Les morceaux de poterie européennes nouvellement mis au jour laissent à penser qu'au moins une partie des colons disparus aurait survécu, potentiellement en se scindant en deux groupes. *« Le nombre et la diversité des "artefacts" retrouvés montrent clairement que le site était habité par plusieurs membres de la colonie de sir Walter Raleigh disparue en 1587 »*, indique Nicholas Luccketti. D'autant que d'autres indices semblent concorder avec ce scénario : dans l'un de ses écrits,

« La diversité des "artefacts" retrouvés montre clairement que le "site Y" était habité par plusieurs membres de la colonie »

Nicholas Luccketti, archéologue à la First Colony Foundation, à Durham, Caroline du Nord, aux États-Unis

STUART CONWAY

Sur cette carte dessinée par John White, un bout de papier masque le symbole d'un fort situé dans les terres, à 80 km de Roanoke, là où les chercheurs ont retrouvé des restes de céramiques européennes.

John White assura que les colons avaient l'intention de déplacer leur campement *« de 80 km vers les terres »*. Or en 2012, une équipe de chercheurs du British Museum de Londres a remarqué qu'une carte dessinée par John White lui-même comporte un étrange petit ajout de papier collé sur l'image d'un fort, au niveau de la pointe de la baie d'Albemarle. Un fort dessiné à l'encre invisible et précisément situé à 80 km à l'ouest de Roanoke… Aurait-il cherché à cacher l'emplacement d'un lieu dont il avait connaissance ?

Lors des fouilles menées à cet endroit, qui correspond aujourd'hui au site X, les archéologues n'ont pourtant trouvé aucun fort. Uniquement les « artefacts » d'origine anglaise. Des indices bien trop minces pour clamer que la Colonie perdue a survécu, selon Charles Ewen, anthropologue à l'université de Caroline de l'Est qui a travaillé sur l'énigme de Roanoke et s'apprête à publier un livre sur le sujet. *« Leur interprétation repose uniquement sur une poignée d'"artefacts" qui, de leur propre aveu, couvrent la période allant de la fin du XVIe au début du XVIIe siècle. Il existe d'autres voies par lesquelles ces objets ont pu arriver sur ce qui semble être un site d'occupation autochtone. Le commerce, par exemple »*, confie le chercheur. En effet, les tessons d'ustensiles de la frontière Surrey-Hampshire, de jarres en balustre et de poteries du Devon du Nord retrouvés sur le site X appartiennent à des types de céramique également sortis de terre à Jamestown, en actuelle Virginie, fondée en 1607, et considérée comme la première colonie britannique permanente en Amérique.

De son côté, Nicholas Luccketti fait valoir que ces objets ne peuvent pas provenir de Nathaniel Batts, le seul commerçant européen enregistré dans la région au début du XVIIe siècle. *« Les céramiques étant antérieures à toute colonisation permanente de la Caroline du Nord, qui fut peuplée bien après la Virginie, la seule conclusion logique, en conjonction avec les preuves documentaires et cartographiques, est qu'elles sont liées à la présence de membres de la colonie de 1587 »*, assure-t-il. Son équipe défend également le fait que l'île Hatteras et ses environs étaient un endroit de repli logique pour les colons perdus après le départ de John White : les autochtones qui y vivaient entretenaient des rapports amicaux avec les Anglais. À moins que les archéologues n'aient pas encore cherché au bon endroit ? Il se pourrait en effet que les colons soient partis dans d'autres directions. *« En réalité, lorsqu'on dispose de si peu de données historiques et archéologiques, on peut déduire de nombreux scénarios tous aussi plausibles les uns que les autres »*, conclut Charles Ewen. Il faudra encore fouiller davantage pour conclure lequel est le bon. ■

Marine Benoit @marin_eben

SCÉNARIOS

Des théories multiples et parfois farfelues

En l'absence de toute trace de corps, les théories développées pour expliquer la disparition des colons anglais sont nombreuses : plus d'une dizaine ! Parmi elles : celle selon laquelle les Anglais auraient été mangés par des tribus environnantes, même si rien à ce jour ne laisse penser que les autochtones de Caroline du Nord pratiquaient le cannibalisme. On suggéra également qu'une malédiction se cachait derrière le mot « Croatoan », que le groupe avait été victime de sorcellerie ou même qu'il avait été enlevé par des extraterrestres ou des esprits des bois… Mais il existe aussi plusieurs hypothèses plus plausibles, prises au sérieux par les historiens. D'abord celle d'un éparpillement volontaire de la colonie dans l'espoir de survivre plus facilement par petits groupes — une stratégie qui aurait conduit à la mort des colons dans la forêt environnante sans feu ni nourriture. Autre possibilité : un massacre par une tribu hostile qui aurait emporté les victimes loin du camp, pourquoi pas en guise de trophées. De son côté, l'anthropologue américaine Lee Miller avança la possibilité que les colons aient été les victimes d'un complot dans l'entourage de la reine, orchestré par le « maître espion » d'Élisabeth 1re, sir Francis Walsingham, dans le but de faire du tort à Walter Raleigh. Dernière possibilité : les Espagnols ont très bien pu avoir localisé et massacré leurs ennemis jurés.

Un fossile de dinosaure couvant ses œufs

Un oviraptorosaure de 70 millions d'années a été découvert en Chine entouré de 24 œufs. Le stade avancé de développement des embryons suggère qu'il était en train de couver au moment de sa mort.

C'est un fossile exceptionnel qui a été mis au jour en Chine : celui d'un dinosaure retrouvé figé, accroupi, sur une ponte de 24 œufs prêts à éclore. Il provient de dépôts rocheux datant de la fin du crétacé, il y a 70 millions d'années environ, situés près de la ville de Ganzhou, dans la province du Jiangxi, en Chine. L'animal qui mesurait entre 1,5 et 2 mètres est un oviraptorosaure, un clade de dinosaures théropodes proches des oiseaux avec qui ils partagent certains traits comme la présence de plumes et d'un bec. La position de ce dinosaure et le stade avancé de développement des embryons dont sept squelettes ont pu être identifiés suggèrent qu'il était en train de couver au moment de sa mort.

Les petits ne devaient pas naître en même temps

« Quelques spécimens d'oviraptorosaures ont déjà été découverts sur des pontes mais il était impossible de savoir s'il s'agissait d'un animal mort en train de pondre, d'un comportement de couvaison ou juste d'un adulte qui surveillait son nid », précise Romain Amiot, du Laboratoire de géologie de Lyon : Terre, planètes et environnement. Pour le confirmer, le scientifique a prêté main-forte à l'équipe menée par Shundong Bi, de l'université du Yunnan (Chine) et de l'université de l'Indiana (États-Unis), qui a étudié le fossile et dont le travail est publié dans la revue *Science Bulletin*. Il a travaillé sur les embryons et la teneur en isotopes de l'oxygène de leurs os. *« Le transfert de l'oxygène des fluides de l'œuf dans les os s'accompagne d'un fractionnement isotopique qui est contrôlé par la température, ce qui permet d'évaluer la température d'incubation des œufs »*, précise-t-il.

Le squelette partiel de l'oviraptorosaure a été retrouvé figé sur les œufs, dont certains contenaient des embryons à un stade avancé. (Ci-dessous, représentation de l'animal en train de couver.)

Les analyses indiquent ainsi que les œufs ont été conservés entre 36 et 38 °C, des valeurs compatibles avec la température corporelle de ces dinosaures et donc avec un comportement de couvaison. Un seul d'entre eux était plus froid, autour de 30 à 32 °C, placé en bordure du nid et porteur d'un embryon moins développé. Tous les petits de cet oviraptorosaure ne devaient donc pas naître en même temps : une stratégie connue chez les oiseaux, appelée éclosion asynchrone. Les chercheurs ont même pu évaluer à entre un et deux mois le temps de couvaison de cet oviraptorosaure en faisant appel à des modèles actuels. Celui qui correspond le mieux est… l'autruche, dont les œufs ont à peu près la même taille.

Dernière surprise réservée par ce fossile : la présence dans la région abdominale de l'adulte de plusieurs petits cailloux. Il s'agirait de « pierres d'estomac » ou gastrolithes, des minéraux ingérés volontairement par de nombreux animaux et presque tous les oiseaux pour faciliter la digestion de la nourriture. Depuis longtemps les spécialistes soupçonnent certains dinosaures d'en avoir été friands mais c'est la première fois qu'ils sont formellement identifiés chez les oviraptorosaures. ■

Joël Ignasse
@ IgnasseJ

La Recherche

La résilience, un consentement au désastre

Pour le sociologue Thierry Ribault, la résilience est une « technologie du consentement », visant à rendre les catastrophes de Tchernobyl ou celle de Fukushima acceptables.

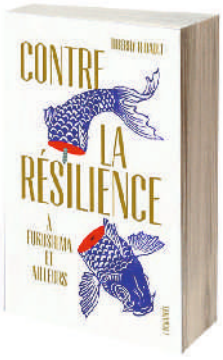
THIERRY RIBAULT

Thierry Ribault, chercheur en sciences sociales (CNRS/université de Lille), a été, de 2013 à 2016, responsable scientifique du Laboratoire international du CNRS Protection humaine et réponses au désastre — Soin intensif en sociétés industrielles, en partenariat avec l'université Doshisha à Kyoto et l'université de Fukushima (Japon).

« Le point de départ de mon livre *Contre la résilience* n'est pas dénué de colère. Au moment de la catastrophe de Fukushima, en mars 2011, ma femme, l'écrivaine Nadine Ribault et moi vivions à Kyoto. Nous avons pris position, face au discours manipulatoire ambiant. Les pouvoirs publics japonais, mais aussi des politiques français, des experts de toutes nationalités répétaient doctement que les Japonais allaient traverser ce désastre, comme ils l'avaient toujours fait depuis Hiroshima ! C'était insupportable de bêtise. Au fond, ces gens vantaient les mérites des capacités de rebond des humains dans l'épreuve, tout en nous évitant de questionner les causes du désastre lui-même : la décision prise par des autorités censées protéger la population, de construire des réacteurs nucléaires en bord de mer, sur un site susceptible d'être ravagé par un tsunami. Et le choix des gouvernements suivants de les y maintenir. La catastrophe de Fukushima était en somme un merveilleux malheur, qui permettrait de montrer que l'humanité saurait faire face dans l'adversité, qu'elle plierait sans rompre, etc. Bref, qu'elle ferait preuve de résilience !

Avec Nadine Ribault, nous avons dès 2012 écrit un livre* sur la négation, par certains experts, des conséquences — pourtant démontrées — du rayonnement sur la santé des populations, une stratégie qui vise à l'acceptation du nucléaire. Par la suite, face au raz-de-marée de la résilience, qui s'est imposée aujourd'hui dans tous les domaines, de l'écologie à la psychologie, comme une sorte de mantra, un guide de survie, j'ai souhaité mettre au jour ce qu'elle recouvrait. Précisons d'abord ce qu'elle n'est pas : la résilience ne consiste pas à tirer les leçons d'une catastrophe pour éviter qu'elle se reproduise. Ainsi, le gouvernement nippon, qui avait annoncé abandonner l'énergie atomique, a vite plié après la visite de Steven Chu, secrétaire d'État à l'énergie du président américain Barack Obama.

Pour en revenir à la résilience, je me suis intéressé à sa naissance puis à l'emprise qu'elle avait gagnée dans nos imaginaires et représentations. Le concept est d'abord issu de la science des matériaux. Puis, dans les années 1950, des biologistes missionnés par la Commission de l'énergie atomique des États-Unis ont étudié la résilience d'êtres vivants — les écosystèmes des atolls coralliens et accessoirement les populations de Micronésie — aux effets des particules radioactives disséminées par les essais atomiques. Par un glissement effroyable, la capacité à encaisser les effets délétères induits par des choix scientifiques discutables va devenir une sorte de vertu. Dans une culture du risque accepté, elle célèbre même la capacité à supporter les chocs et à se réorganiser efficacement en "capitalisant" sur les opportunités qui peuvent en émerger. Selon moi, la résilience est une "technologie du consentement" parce qu'elle est à la fois un discours tenu sur la technique — dont nous serions absolument dépendants — et une technique de manipulation, visant à amener les populations en situation de désastre à consentir à la technologie qui a fait leur malheur.



EXTRAIT

« Après l'accident de Tchernobyl en 1986, la doctrine et le processus d'adaptation à la toxicité de la radioactivité ont été poussés un cran plus loin, avec le développement de différents programmes européens et internationaux de communication du risque, visant à instaurer une "culture pratique de la protection radiologique" sous les auspices de l'Union européenne et de l'AIEA. [...] Avant-garde de l'adaptation à la contamination radioactive, ces programmes de résilience constituent le versant officiel d'une dimension de plus en plus prégnante de la production d'ignorance en matière nucléaire et au-delà : le passage d'une culture des normes à la culture comme norme est aussi un passage des règles de droit aux règles de comportement. »

Contre la résilience, à Fukushima et ailleurs, L'Échappée, 364 p., 21 €

ISSEI KATO/REUTERS

Même si 75 % des Japonais souhaitent l'abandon de l'énergie nucléaire, le gouvernement nippon y a renoncé pour des raisons géostratégiques, face à la Chine et à la Russie (ici, manifestation contre le nucléaire devant le Parlement à Tokyo, le 7 mars, dix ans après la catastrophe de Fukushima).

La résilience est désormais la thérapie, l'injonction, pour toute expérience douloureuse : attentats, maltraitance, maladies, perte d'un proche, catastrophe, etc. Pire, en faisant du malheur un mérite, elle nous donne l'illusion d'être acteurs, puisqu'elle exige le courage et la responsabilité individuelle de chacun, dans des épreuves collectives face auxquelles nous serions impuissants. Alors que la lutte contre les cancers ou le changement climatique nécessiterait justement des choix politiques lucides, s'attaquant à leurs causes véritables. Il est aussi devenu honteux d'avoir peur… alors que la peur peut stimuler en nous la nécessité de bouleverser un système qui se nourrit de la destruction qu'il génère. Nous sommes acculés à encaisser les coups pour des choix que nous n'avons pas faits et paralysés dans notre capacité à imaginer le futur autrement. La résilience est une religion laïque, une métaphysique étatique du malheur, qui justifie le désastre comme le pendant inéluctable du « progrès », au point d'en faire sa source. »

> « La capacité à encaisser les effets délétères induits par des choix scientifiques discutables va devenir une sorte de vertu »

Propos recueillis par Rachel Mulot @RachelFleaux

* *Les Sanctuaires de l'abîme. Chroniques du désastre de Fukushima*, éditions Encyclopédie des nuisances, 2012.

SUR LE MÊME THÈME

Dissimulations et errements

ENQUÊTE Durant dix ans, l'historienne américaine Kate Brown a étudié les archives soviétiques fraîchement déclassifiées et effectué des enquêtes de terrain pour analyser les conséquences réelles de la catastrophe de Tchernobyl.
On découvre ainsi l'ampleur des dissimulations et des errements des gouvernements… et des agences onusiennes. Exemple : soucieuses de préserver Moscou des nuages radioactifs, les autorités russes avaient donné l'ordre de déclencher des pluies sur la Biélorussie en dispersant de l'iodure d'argent dans l'atmosphère. Une mesure cachée aux populations locales, qui ont ensuite vécu avec un seuil de radioactivité élevé ! **S. R.**
Tchernobyl par la preuve, Kate Brown, Actes sud, 528 p., 25 €

Les vies perdues de Pripyat

TÉMOIGNAGE Pripyat a basculé dans l'enfer lors de la catastrophe de Tchernobyl, le 26 avril 1986. Située à trois kilomètres de la centrale, elle a été évacuée dès le lendemain. Dans ce très documenté témoignage photographique, on chemine parmi les ruines d'un quotidien pulvérisé, empreint des traces de feu l'URSS. Salles de classe, épiceries, usines, bibliothèques… on a déjà vu des photos de ce lieu emblématique. Ainsi que celles qui relatent les premières heures après l'explosion nucléaire, rassemblées au début de l'ouvrage. Mais on sent ici l'implication d'un homme qui depuis quinze ans parcourt les lieux à la recherche de l'âme perdue des habitants. **A. de B.**
Tchernobyl. Visite post-apocalyptique, Laurent Michelot, éd. du Chêne, 224 p., 35 €

L'impact fort d'une mobilisation citoyenne

BILAN Une décennie s'est écoulée depuis le tsunami et l'accident nucléaire qui ont ravagé, en mars 2011, la région de Fukushima (Japon). Quel bilan tirer de dix ans de gestion de cette catastrophe ?
L'enquête de Cécile Asanuma-Brice se révèle peu flatteuse pour les autorités nippones ; leur est reprochée notamment la politique d'incitation au retour des habitants évacués, mise en œuvre sans que soient convenablement prises en compte les conséquences environnementales, sociales et psychologiques du désastre. La mobilisation de la société civile, en revanche, est saluée ; c'est en grande partie grâce à elle, souligne la chercheuse, que cette catastrophe a été traitée comme il se doit : un désastre sans précédent. **V. G.**
Fukushima, 10 ans après, Cécile Asanuma-Brice, éditions de la Maison des sciences de l'homme, 220 p., 12 €.

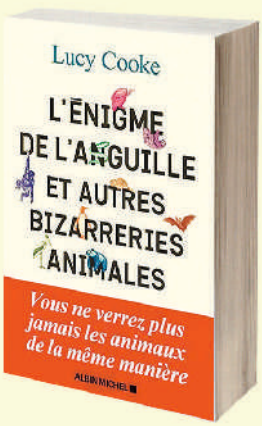
NATUREPL/BACCEGA

La vie au ralenti du paresseux est en fait un modèle d'adaptation à l'environnement forestier.

Le club des animaux incompris

La zoologue britannique Lucy Cooke déconstruit les mythes et les préjugés sur les mœurs parfois étranges de certains animaux.

BESTIAIRE *« Comment des losers comme les paresseux peuvent-ils exister ? »* La question, fréquente, fait bouillir Lucy Cooke, zoologue britannique formée à Oxford. Pauvre Darwin, dont la théorie de l'évolution est au XXIe siècle toujours réduite à une notion de « survie du plus fort » mal digérée ! Le paresseux, qui vit au ralenti et descend déféquer précautionneusement une fois par semaine, est en fait un modèle d'adaptation à son environnement et même… un as du camouflage, explique-t-elle. La chercheuse a fait de ce mammifère arboricole le premier membre emblématique de son « club des animaux incompris ». Car elle a décidé de s'attaquer aux mythes, malentendus et légendes anthropomorphiques qui courent depuis des siècles sur nombre d'entre eux. D'Aristote à Walt Disney, en passant par les bestiaires du Moyen Âge ou l'*Histoire naturelle* de Buffon, les humains projettent à tort sur les animaux des défauts et qualités humaines, voire des fantasmes incongrus. Pendant des siècles, des savants ont multiplié les expériences — parfois cruelles — (comme nourrir les autruches avec de la limaille de fer), pour tenter de confirmer ou d'infirmer les préjugés ou observations. Aujourd'hui, l'éthologie a beau avoir fait d'énormes progrès dans la compréhension des mœurs animales, nombre de fadaises ont la peau dure. Comme celles du pingouin pervers, de l'orignal ivrogne, de l'hyène harpie féministe, du vautour hygiéniste ou du castor, rouage d'une société pyramidale d'architectes. Alors, Lucy Cook déconstruit, décape, met en contexte. Le résultat est un livre empreint d'humour *british*, érudit, culotté, à l'image de son auteure, capable de « déguster » des glandes musquées de castor achetées sur le *dark Web* ou de voler depuis une falaise avec les vautours pour donner du poids à ses démonstrations.



Rachel Mulot

L'Énigme de l'anguille et autres bizarreries animales, Lucy Cooke, Albin Michel, 492 p., 22,90 €

La santé en liberté

DÉCULPABILISATION Ne pas manger trop gras, ni trop sucré, ne pas boire, ne pas s'exposer au soleil sans protection, faire attention aux perturbateurs endocriniens omniprésents… Prendre soin de sa santé semble parfois un chemin de croix. Le Pr David Khayat, ancien chef du service d'oncologie de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris, et bon vivant devant l'Éternel, se lève ici contre le trop-plein *« d'injonctions hygiénistes »*, sources, elles aussi, d'un stress malsain et qui ne garantissent pas pour autant de vivre 100 ans. *Arrêtez de vous priver !* livre des clés pour que chacun, selon son profil de risque, gère ses péchés mignons et excès pour profiter de la vie sans se priver outre mesure. ■ **H. J.**

Arrêtez de vous priver ! Pr David Khayat, Albin Michel, 224 p., 19,90 €

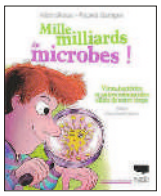
Un métis contre les Aztèques

GLOBALISATION C'est à une conversation imaginaire entre l'auteur et un Indien du Mexique contemporain de Montaigne, Diego Munoz Camargo, que Serge Gruzinski nous invite. En s'appuyant sur un texte d'époque — *La Description de Tlaxcala* — de 1585, l'historien fait entendre la voix rare d'un métis de la Nouvelle-Espagne (Mexique), fils d'un père conquistador et d'une mère de la noblesse tlaxcaltèque, peuple qui dès 1519 fit alliance avec Cortès contre les Aztèques. Un dialogue sur fond de mondialisation ibérique chrétienne du XVIe siècle, faisant écho à toutes les intrusions européennes et irruptions de colonisateurs qui suivront. Des processus qui ont transformé l'existence des envahisseurs autant que des envahis. ■ **B. A.**

Conversation avec un métis de la Nouvelle-Espagne, Serge Gruzinski, Fayard, 286 p., 22 €

Géants les microbes !

COLOCATION Saviez vous que nous abritons bien plus que 10 000 espèces différentes de microbes ? Plus que le nombre d'espèces d'oiseaux sur la planète ? Ce guide sérieux et drolatique donne des conseils pour bien vivre en « colocation » avec nos microbes. Œil, peau, nombril, intestin, anus… ils varient notamment selon l'âge et l'auteur dévoile leurs effets. Les bactéries, qui ont fabriqué l'oxygène que nous respirons, influenceraient en effet nos humeurs et notre sexualité. Elles participent à la formation des nuages comme à la fermentation des fromages, du pain, du vin. Elles sont aussi à la base de nouveaux médicaments. ■ **R. M.**



Mille Milliards de microbes ! Marc Giraud, Illustrations de Romain Garrigue, Delachaux et Niestlé, 126 p., 12,90 €

Plongée dans la terre

BD Pour avoir répondu à une petite annonce du dieu des Enfers, deux adolescents, Suzanne et Tom, se trouvent engagés dans un étonnant parcours initiatique. Leur taille réduite à quelques millimètres, ils sont plongés dans le sol, dans un labyrinthe d'argile et d'humus, se retrouvent nez à nez avec des vers, des racines, des amibes, des bactéries… Pour sortir de cet univers grouillant, ils doivent résoudre des énigmes, livrer combat (épique face à un pseudo-scorpion !) mais surtout observer. Derrière ces aventures, l'auteur-dessinateur Mathieu Burniat, avec l'appui scientifique du biologiste Marc-André Selosse, révèle la richesse des interactions qui se produisent dans le sol. Une lecture biodynamique ! ■ **M. G.**

Sous terre, Mathieu Burniat, Dargaud, 176 p., 19,99 €

Chasseur de fragrances

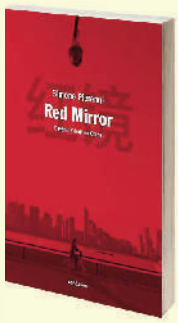
TOUR DU MONDE L'auteur est un « sourceur », l'un des premiers maillons d'une chaîne odoriférante, chargé de dénicher à travers le monde les matières premières naturelles indispensables à l'industrie du parfum pour créer fragrances et arômes. Il raconte ici trente années de voyages, des plaines brûlantes d'Andalousie où pousse le ciste cher à Guerlain aux distilleries d'eau de rose de Bulgarie et d'Iran ou aux champs de bergamote de Calabre à l'origine de la célèbre eau de Cologne… *« L'odeur du jasmin incarne pour moi quelque chose de l'ordre de la beauté absolue »*, écrit celui qui s'attache à décrire aussi les conditions de travail, souvent très difficiles, des petits cueilleurs et producteurs. Une alchimie réussie. ■ **C. C.**

Cueilleur d'essences, aux sources des parfums du monde, Dominique Roques, Grasset, 384 p., 20 €

Braconniers des mers

RÉCIT La réalité dépasse la fiction : le vieil adage colle bien à ce récit d'investigation à lire comme un polar truffé de rebondissements. L'enquête journalistique raconte les 110 jours de traque du navire pirate *Thunder*, dans les eaux de l'Antarctique, de l'océan Indien et jusqu'aux côtes africaines. Le *Bob Barker*, navire de l'organisation de défense des mers Sea Shepherd, part en décembre 2014 aux trousses des braconniers de la très convoitée légine australe, soupçonnés qui plus est de pratiques esclavagistes sur l'équipage. La fin est connue : le *Thunder* coule. Mais les mécanismes d'une criminalité internationale de type mafieux sont dévoilés… au fil des pages. ■ **A. de B.**

À la poursuite du *Thunder*, Eskil Engdal et Kjetil Saeter, Actes Sud, 455 p. , 23 €



Aux origines d'une puissance technologique

BIG BROTHER La Chine a longtemps été en avance sur l'Occident, avant de se retrouver dépassée à l'époque de la révolution industrielle. Cette image d'un empire oriental à la traîne est tenace. Mais c'est terminé : la Chine est une puissance technologique, en pointe sur les *smart cities* (« villes intelligentes »), la reconnaissance faciale, la 5G ou la robotisation des usines. Mais de ce développement, le journaliste italien Simone Pieranni rappelle la clef trop souvent occultée, y compris par les investisseurs de la Silicon Valley : la Chine est une dictature, son industrie high-tech est en partie organisée comme telle. Les usines comme Foxconn ont des airs de pénitencier, *big data* et surveillance sont la norme quand la persécution des Ouïgours permet d'expérimenter des technologies de contrôle. Évidemment, la rivalité avec les États-Unis ou d'ancestraux fondements culturels jouent aussi leur rôle (voir le chapitre sur le crédit social) mais le message est clair : mieux vaut réfléchir à deux fois avant d'ériger la Chine en modèle. **Arnaud Devillard**

Red mirror, l'avenir s'écrit en Chine, Simone Pieranni, C & F éditions, 184 p., 25 €

La science des flocons

INITIATION Depuis le Suédois Olaf Mansson (1490-1557), le premier à avoir dessiné des flocons, jusqu'au physicien Kenneth Libbrecht (né en 1958) qui les fabrique en laboratoire et les photographie en artiste, Étienne Ghys convoque une vingtaine de savants, sur cinq siècles, pour nous faire découvrir les flocons de neige sous tous les angles. Et il y en a beaucoup ! Saviez-vous qu'il existe des dizaines de formes de flocons, mais qu'ils comportent toujours six branches ? Que la température et l'humidité de l'atmosphère déterminent cette forme avec précision ? Et si vous essayiez d'en dessiner un, en suivant quelques règles de thermodynamique… Étienne Ghys, avec sa plume légère, vous y invite en conclusion de ce passionnant petit ouvrage mêlant mathématiques, physique, chimie et humour. L'iconographie n'a pas été oubliée avec de magnifiques photos, où la science se mêle à l'art. ■ **Fabrice Nicot**

La Petite Histoire des flocons de neige, Étienne Ghys, Odile Jacob, 144 p., 16,90 €

EXPOSITIONS

Le Havre (76)

Philippe de Gobert, du merveilleux en architecture au conte photographique
Répondant à une commande du MuMa, le photographe s'inspire de l'ambiance architecturale moderniste du port et de la ville basse, détruits par les bombardements britanniques de 1944. Des maquettes recréent cet environnement urbain pour mettre en valeur la renaissance d'une ville, dont le centre est classé au patrimoine mondial de l'Unesco depuis 2005.
MuMa, musée d'Art moderne André-Malraux, 2, boulevard Clemenceau, jusqu'au 7 novembre. Rens. : 02.35.19.62.62.

Lille (59)

Ni méchant ni gentil !
Les récits pour la jeunesse ont fini par faire du loup un animal sympathique. Mais l'animal reste associé à un imaginaire de férocité et de menace. Cette exposition pour les 3-7 ans propose de confronter les représentations à la réalité.
Musée d'Histoire naturelle, 19, rue de Bruxelles, jusqu'en janvier 2022. Rens. : 03.28.55.30.80.

Nîmes (30)

L'empereur romain, un mortel parmi les dieux
Premier empereur de Rome, Auguste instaure un culte impérial que détaille cette exposition en 149 œuvres (reliefs, stèles funéraires, monnaies, gravures…). On suit le développement du phénomène ainsi que l'instauration de sacrifices en l'honneur d'un homme garant, tel une divinité, de la prospérité de l'empire.
Musée de la Romanité, 16, boulevard des Arènes, jusqu'au 19 septembre. Rens. : 04.48.21.02.10.

Paris (75)

Visages du Rhône, le fleuve-roi
Accrochées en plein air sur les grilles du jardin du Luxembourg, les photos de Camille Moirenc suivent le Rhône du canton du Valais, en Suisse, à son embouchure en delta sur la Méditerranée, en France. Nature sauvage et activités humaines, pollution comprise, se succèdent sur 812 km.
Rue de Médicis, jusqu'au 14 juillet, accès libre.

Espions
Réalisée en partenariat avec les services du renseignement français et l'équipe de production de la série télévisée *Le Bureau des légendes*, cette exposition consacrée à l'espionnage est conçue comme une intrigue autour d'un mystérieux essai nucléaire (lire sur notre site Internet notre reportage : sciav.fr/891espions).
Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin-Cariou, prolongée jusqu'à l'été. Rens. : 01.85.53.99.74.

Napoléon n'est plus
Le 5 mai 1821, Napoléon meurt à Sainte-Hélène. L'hôtel des Invalides revient sur tout ce qui entoure ce moment, des derniers écrits d'un homme malade au retour de ses cendres à Paris, en 1840, en passant par sa veillée funèbre et son autopsie. *(Lire aussi p. 78.)*
Musée de l'Armée, hôtel des Invalides, 129, rue de Grenelle, jusqu'au 19 septembre. Rens. : 01.44.42.38.77.

Rouen (76)

Salammbô : Fureur ! Passion ! Éléphants !
Le roman de Gustave Flaubert (1862), situé à Carthage au IIIe siècle avant notre ère, donne lieu à une exposition brassant son vaste héritage, dans divers domaines, des arts graphiques à l'archéologie. L'Institut national du patrimoine de Tunisie a prêté des pièces issues des fouilles du site de Carthage.
Musée des Beaux-Arts, esplanade Marcel-Duchamp, jusqu'au 19 septembre. Rens. : 02.35.71.28.40.

Saint-Germain-en-Laye (78)

La préhistoire en bande dessinée
Le Musée national d'archéologie accompagne ses collections du paléolithique d'extraits de *La Préhistoire en bande dessinée*, d'Éric Le Brun (éditions Glénat). Les scènes dessinées montrent des objets en situation, renvoyant à ceux du musée et *vice versa*.

Musée d'Archéologie nationale, place Charles-de-Gaulle, jusqu'au 20 septembre. Rens. : 01.34.51.65.36.

Toulouse (31) /Exposition

Magies-Sorcelleries

Livre de magie et de divination du XIXe siècle provenant de Sumatra (Indonésie).

PIERRE-OLIVIER DESCHAMPS / AGENCE VU

Au sous-sol du muséum de Toulouse, dans un décor de mobiliers et de cloisons d'un noir profond, l'exposition Magies-Sorcelleries explore les liens entre croyances, religions et sciences. *« Le muséum a proposé d'intégrer cette question de la magie dans l'histoire et la construction des connaissances,* explique la cheffe de projet Gaëlle Cap-Jedikian. *Parce que la magie n'est pas si loin de la science et parce qu'elle convoque deux thématiques : le croire et le savoir. Elle soulève des questions quant à notre rapport à la vérité. »* Un espace est réservé aux pierres et aux plantes, leurs symboles et pouvoirs associés. Mais aussi aux classifications scientifiques dont elles ont fait l'objet dès l'Antiquité. Au long du parcours, on croise également Nicolas Copernic, Galilée ou Giordano Bruno, dont les recherches en astronomie ont tenu, à leur époque, de l'hérésie (Bruno finira sur le bûcher en 1600), ou encore l'illusionniste Jean-Eugène Robert-Houdin. Celui-ci a su exploiter pour son art ses connaissances en ophtalmologie.

Enfin l'exposition, compte un volet ethnographique (enregistrements d'incantations, amulettes, chamanisme) avant de se terminer sur un curieuxt bestiaire. Empaillés, le jaguar voisine avec la civette, l'hyène avec le rat. Autant d'animaux auxquels on a prêté, selon les époques et les régions, des propriétés magiques. C'est aussi le cas de la chauve-souris et du pangolin. Ceux-là mêmes qui, coïncidence, sont pointés du doigt dansla pandémie actuelle de Covid-19 *(lire notre reportage* : sciav.fr/891Magiciens). ■

Arnaud Devillard

Muséum de Toulouse, 35, allées Jules-Guesde, jusqu'au 31 octobre. Rens. : 05.67.73.84.84.

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

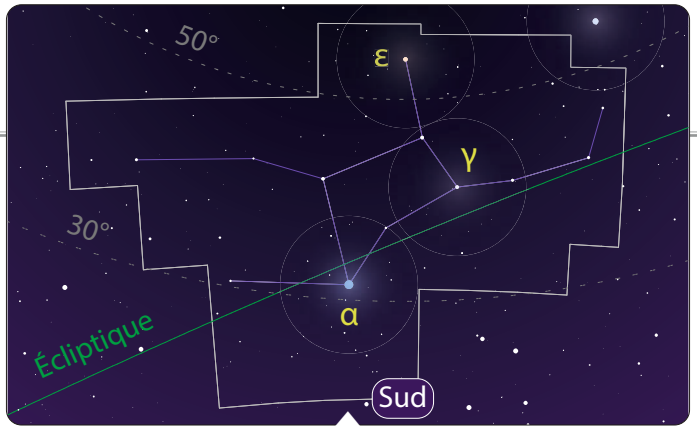
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE La petite planète atteint sa plus grande distance angulaire (22°) à l'est du Soleil le 17. Son éclat diminuant, elle n'est observable à l'œil nu que durant les dix premiers jours du mois environ. Il faudra une paire de jumelles pour la suivre ensuite, bas vers le couchant.

VÉNUS Après son passage en conjonction supérieure avec l'astre du jour le 26 mars, l'étoile du Berger s'extrait très lentement des lumières du crépuscule. Elle devient aisément décelable en fin de mois en soirée grâce à son éclat particulièrement vif.

MARS La planète Rouge est visible en début de nuit vers l'ouest; elle se couche de plus en plus tôt au fil des jours. Point moyennement brillant à la couleur caramel, Mars peut facilement être confondue avec une étoile. Elle traverse ce mois la belle constellation des Gémeaux.



Deux heures après le coucher du Soleil, la Vierge domine l'horizon sud, à mi-hauteur dans le ciel.

La constellation de la Vierge et ses hôtes

VISIBLE TOUTE LA NUIT, la Vierge est une constellation immense, deuxième sur 88 par la superficie. Elle est l'hôte d'une étoile chaude et bleutée de première grandeur, Spica (α), de Porrima (γ), étoile double dont les deux composantes se confondent en un seul astre à l'œil nu, et de Vindemiatrix (ε), une étoile jaunâtre engagée dans le processus de transformation en géante rouge.

Notre conseil Les nuits de mai étant courtes, son observation gagne à être réalisée vers minuit.

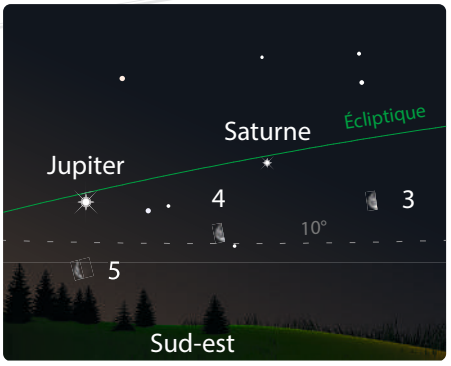
Retrouvez la carte du ciel sur sciav.fr/carteduciel

JUPITER La plus grosse des planètes est désormais solidement installée dans le ciel de fin de nuit. Point très brillant, on la trouve à une vingtaine de degrés de hauteur vers le sud-est alors que l'aube s'annonce. Jupiter passe le mois dans la constellation du Verseau.

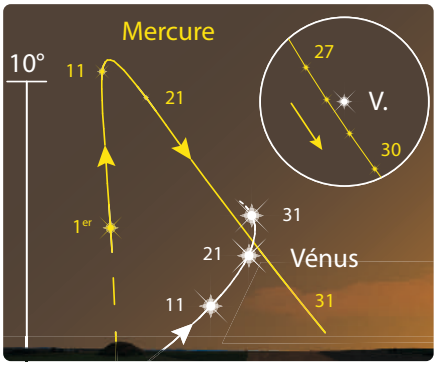
SATURNE La planète aux anneaux se lève un peu plus d'une demi-heure avant Jupiter. Elle partage donc les mêmes conditions d'observation que sa cousine, tout en étant 15 fois moins lumineuse qu'elle.

L'appli du mois

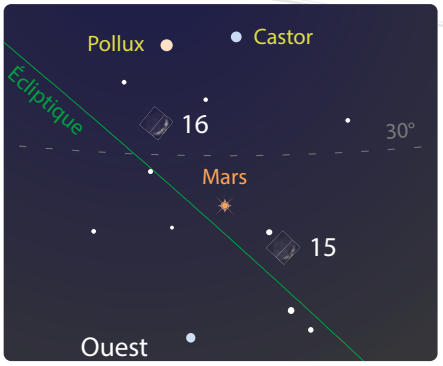
SKEYE est une application gratuite en anglais fonctionnant sous Android. Elle se présente sous la forme d'un planétarium mobile et peut également servir de guide à un télescope. Elle permet de se familiariser avec le ciel en identifiant les étoiles, les planètes, les constellations et les objets les plus remarquables du ciel profond.



LES MATINS DU 3 AU 5, UNE LUNE À LA PHASE DÉCROISSANTE rend successivement visite aux planètes Saturne et Jupiter. La scène est représentée 1 h avant le lever de l'astre du jour.



EN SOIRÉE, 45 MINUTES APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, observez la planète Mercure bas sur l'horizon. En fin de mois, son rapprochement avec Vénus ne sera accessible qu'aux jumelles.



LES 15 ET 16, 1 H APRÈS LE COUCHER DE NOTRE ÉTOILE, le croissant de Lune enveloppé de sa lumière cendrée croise la route de la planète Mars dans la constellation des Gémeaux.

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

OCÉANOGRAPHIE

Est-il vrai que nous connaissons mieux l'espace que les océans ?

Priscillia B.

Les fonds marins ont été cartographiés — au mieux — avec une résolution de l'ordre du kilomètre, alors que les cartes martiennes de la Nasa ont une résolution d'environ 20 mètres. C'est que, contrairement à la planète Rouge, on ne peut pas cartographier les fonds marins par satellite, l'eau de mer ayant tendance à perturber les ondes radio. Il est donc nécessaire de déployer des véhicules sous-marins perfectionnés, composés de matériaux et d'une électronique capable de résister à la corrosion, à la géologie instable des fonds marins et à la pression (mille fois supérieure à celle de l'atmosphère). ■ **L. L.**

OBSTÉTRIQUE

Qu'advient-il du cordon ombilical après la naissance ?

Fanny P.

Reliant le nombril du fœtus au placenta, le cordon ombilical se forme dès la quatrième semaine de grossesse à partir de la cellule œuf. Il sert à apporter nourriture et oxygène au bébé, tout en évacuant ses déchets. À la naissance, le cordon ombilical est considéré comme un déchet médical en France (alors que dans d'autres pays européens comme l'Allemagne ou le Danemark, la famille peut le conserver). Mais la mère peut néanmoins décider d'en faire un don anonyme après son accouchement. Les médecins peuvent en effet extraire le sang qu'il comporte, riche en cellules souches, pour soigner des patients atteints de maladies graves du sang (leucémies, lymphomes) ainsi que des maladies sanguines héréditaires de l'hémoglobine (drépanocytose, thalassémie). ■ **L. L.**

FRANCIS DZIKOWSKI/AKG IMAGES

La figuration dite aspective permet de présenter différents points de vue.

ÉGYPTOLOGIE

Pourquoi dans l'Égypte antique les personnages sont-ils représentés de profil ?

Salam N.

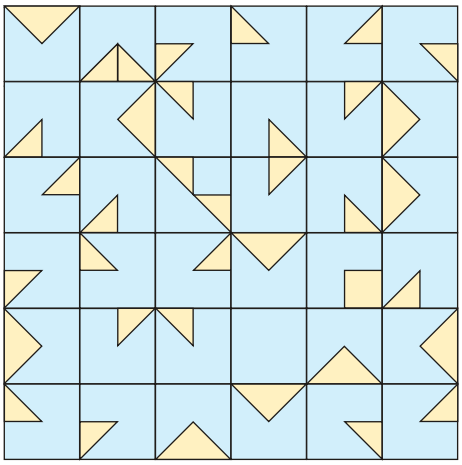
La civilisation égyptienne a adopté dès la XVIIIe dynastie (1550-1292 avant J.-C.) des principes de représentation du corps humain en deux dimensions dont le but n'était pas d'illustrer fidèlement la réalité mais d'être la plus complète possible. Certaines parties d'un personnage peuvent être de profil (comme la tête, les jambes et les pieds) et d'autres en vue frontale (comme l'œil et le torse). Ces dessins proposent ainsi une multitude de points de vue différents, comme si l'on pouvait faire le tour du personnage représenté. Ce type de représentation s'appelle « aspective ». Son objectif n'est pas de représenter le monde tel qu'il est vu mais tel qu'il est : différents points de vue sont dessinés sur une même image, et celui qui regarde doit les rassembler mentalement pour reconstituer la réalité. Pour faciliter le dessin du corps humain, les Égyptiens respectaient des règles précises que l'on nomme « le canon égyptien ». La figure s'inscrit dans un quadrillage de 18 carreaux de haut : 2 carreaux pour la tête, 4 du cou au bas du ventre, 6 du ventre aux genoux et 6 des genoux aux pieds. Ce système permet de donner aux femmes et aux hommes dessinés une apparence identique. Ces codes ont été respectés par les artistes égyptiens pendant plus de trois millénaires. Cette représentation du corps humain est, par de nombreux aspects, assez proche des choix opérés, au début du XXe siècle, par le cubisme dont les acteurs ont avoué avoir été influencés par l'art égyptien. ■ **Lise Loumé**

@lysLoume

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 890, avril 2021

Un carré de triangles

Avec cette logique, dans chaque ligne, les triangles ou autres figures jaunes additionnées forment un carré jaune complet.



La valse des cylindrées

Édouard Ballot est celui qui a envoyé la Sizaire à Louis Delage. En effet :
Que peut recevoir Maurice Sizaire ? Ni Sizaire ni Delage (2) ni Ballot (3) ni Mathis (2)(3). Donc Maurice Sizaire a reçu une Berliet et Marius Berliet a envoyé la Ballot.
Que peut envoyer Maurice Sizaire ? Ni Sizaire ni Ballot (3) ni Delage (2) ni Berliet (3), donc Marius Berliet ne pouvant pas envoyer à lui-même, Maurice Sizaire a envoyé une Mathis et Marius Berliet a envoyé une Ballot à Émile Mathis.
Qui reçoit la Sizaire ? Comme la personne qui a envoyée la Ballot n'a pas reçu la Sizaire (1), Marius Berliet ne reçoit pas la Sizaire. Donc, ni Maurice Sizaire ni Marius Berliet ni Émile Mathis qui reçoit la Ballot ni Édouard Ballot (2). Reste Louis Delage qui reçoit la Sizaire.
Qui envoie la Sizaire ? Pas Maurice Sizaire ni Marius Berliet ni Émile Mathis ni Louis Delage qui la reçoit. Il ne reste qu'Édouard Ballot pour envoyer la Sizaire.

Un carré latin

		15	11	5	5	11	17	
	28	7	11	9	14	10	7	
5	15	3	2			4	5	6
10	12	5	3	2		1	4	7
16	5	4	1	6	5		2	3
13	1	6	4	3				1
12	6	7	5		2	3	1	
2	25	2		7	4	6	3	5
	28	1	7	4	3	5	6	2

Mécènes inconnus

Science sans conscience n'est que ruine de l'âme.

Citations croisées

L'expérience est le nom que l'on donne à ses erreurs.

Y a-t-il eu un cannibalisme guerrier à la préhistoire ?

Peut-on attester de guerres anthropophages dans les temps reculés alors que les pratiques cannibales sont déjà difficiles à documenter ? Deux scientifiques confrontent ici leurs approches divergentes.

Dialogue animé par Rachel Mulot @RachelFleaux

BERNARD MARTINEZ

Rachel Mulot, cheffe du service Enquêtes à « Sciences et Avenir-La Recherche ».

Quel est le premier acte de cannibalisme connu chez l'humain ?

Marylène Patou-Mathis : Pour l'instant, il est attesté dans la grotte de Gran Dolina, dans la sierra d'Atapuerca en Espagne. On a des traces à la fois de démembrement, de décharnement et même de décapitation sur *Homo antecessor*, une espèce prénéandertalienne qui vivait là il y a 780 000 ans.

D'autres* Homo *préhistoriques pratiquaient-ils le cannibalisme ?

M. P-M : Pour les *Homo erectus*, je suis extrêmement prudente. Leur cannibalisme est évoqué pour le site de la Caune de l'Arago à Tautavel (Pyrénées-Orientales), dont l'occupation remonte à près de 570 000 ans, mais il y a trop peu de restes pour que ce soit concluant. Pour les néandertaliens, le site de Moula-Guercy, en France, vieux de 100 000 ans, semble l'attester ainsi que celui de Goyet en Belgique. D'autres sites néandertaliens, dont ceux des Pradelles, en France, et de Krapina, en Croatie, donnent encore matière à discussions, car s'il est incontestable qu'il y a des marques de découpe sur les os, était-ce vraiment du cannibalisme ou des pratiques funéraires ? On a trop généralisé en disant que tous les néandertaliens mangeaient de la chair humaine.

Les anciens* Homo sapiens *se repaissaient-ils de leurs semblables ?

Bruno Boulestin : Je ne connais pas de site permettant de l'attester en Afrique. En revanche, en Europe, Il y a Maszycka en Pologne, daté de -15 000 ans, et Gough's Cave, daté de -14 700 ans au Royaume-Uni. Mais le site le plus ancien est la grotte du Placard, en Charente, datant du badegoulien (magdalénien ancien), il y a 20 000 ans.

Comment distingue-t-on si quelqu'un a été tué pour être mangé ou s'il a été mangé après une mort naturelle ou accidentelle ?

B. B. : On ne distingue pas. C'est extrêmement difficile. D'abord parce que, parmi les critères de reconnaissance du cannibalisme, il y a la fracturation osseuse qui vise à sortir la moelle pour la déguster… et justement, quand les os sont très fragmentés, il est plus compliqué de diagnostiquer les causes de la mort ! Sur le site néolithique de Herxheim (Allemagne), en 5000 avant notre ère, c'est possible parce qu'on a des traces de coups violents portés à la tête avec une herminette. L'herminette, c'est l'outil à tout faire et la Kalachnikov de l'époque : elle servait à couper des arbres, à gratter le sol, à faire la guerre aussi. On y trouve des centaines de coupes crâniennes qui ont été taillées, mais aussi des coups assenés dans des zones qui ne correspondent manifestement pas aux processus d'élaboration de ces coupes. Mais c'est un cas rarissime.

Quels peuples mangeaient leurs morts ?

M. P-M : C'est compliqué de répondre, parce que ce que l'on étudie, ce sont les ossements de ceux qui ont été mangés. Mais qui les a mangés ? Est-ce des membres de leur clan ? Ou ceux d'un

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR LA RECHERCHE - YOHAN BONNET / HANS LUCAS

clan extérieur ? En un seul repas ? Ou à différents moments ? Pour l'instant, un des critères souvent utilisé est de considérer que dans les cas d'endocannibalisme (la pratique qui consiste à manger les siens), les os n'étaient pas cassés pour en extraire la moelle. Ce rituel funéraire ne consisterait pas à manger tout le corps mais seulement certaines parties, notamment les abats, le cerveau, foie...

Faute d'ADN de comparaison, comment établir avec certitude que les corps découpés appartenaient à un groupe extérieur ou proche ?

B. B. : Il y a d'autres techniques dont l'analyse des isotopes du strontium, un élément qui est incorporé avec l'alimentation et qui se fixe sur les os et les dents. Il dépend de l'environnement et permet de dire si l'on a affaire à des locaux ou pas. C'est le cas à Herxheim où beaucoup de gens qui ont été mangés venaient d'ailleurs. C'est le cas aussi à la grotte des Perrats, en Charente, occupée au mésolithique, vers 7000 avant notre ère. Et là, les analyses du strontium suggèrent qu'il ne s'agissait pas de locaux.

Quand sont apparues les premières guerres ?

B. B. : L'histoire de leurs études oppose deux clans. Les Américains parlent des « faucons », partisans de la guerre depuis l'aube de l'humanité, et des « colombes » qui ne veulent pas en entendre parler avant le néolithique, quand les agriculteurs se sédentarisent, il y a environ 8000 ans en Europe occidentale. C'est un peu caricatural. À une même époque peuvent coexister des sociétés très guerrières, d'autres moins. Et dans une même société, on peut faire la guerre à un moment et être pacifique à un autre.

Le site de la grotte du Placard, en Charente témoignerait justement d'un cannibalisme où l'on dévore l'ennemi, dès il y a 20 000 ans...

B. B. : La grotte a pratiquement été vidée au XIXe siècle, donc on n'a pas les données du ter-

Marylène Patou-Mathis, préhistorienne, directrice de recherche au CNRS, rattachée au MNHN, auteure des *Mangeurs de viande,* aux éditions Perrin, est spécialiste de Neandertal auquel elle a consacré une exposition au musée de l'Homme, à Paris.

Bruno Boulestin, médecin et anthropologue de l'université de Bordeaux, est l'auteur, avec Dominique Henry-Gambier, de *Cannibalisme et guerre il y a 20 000 ans — Les restes humains badegouliens de la grotte du Placard* », aux éditions Oxford Archeopress.

« Dans 95 % des cas documentés du point de vue ethno-historique, les crânes taillés en coupe sont ceux d'ennemis »
Bruno Boulestin

rain. Avec Dominique Henry-Gambier [anthropologue et directrice de recherches au CNRS], nous avons étudié la série d'os, près de 200. Les traces montrent que des fracturations sont intervenues sur des cadavres frais. On a beaucoup de têtes, mais le tamisage des déblais anciens a permis de découvrir des restes de gros os longs — fémurs, tibias, humérus — réputés fournir le plus de moelle, découpés et fracturés. Autant d'arguments nutritionnels qui vont dans le sens du cannibalisme. Alors, soit il y a eu une année de disette et les occupants du Placard ont mangé quelques cadavres, dans un cannibalisme de nécessité. Soit le fait s'est produit plus régulièrement, et il s'agit d'exocannibalisme, de violences armées. Ce qui conforte cette hypothèse, c'est la courbe démographique des défunts. La mortalité naturelle produit une certaine répartition de la population selon les âges. Là, la pyramide des âges montre beaucoup trop d'individus immatures pour qu'il s'agisse de mortalité naturelle.

Les crânes taillés en coupe du Placard seraient-ils des trophées ?
B. B. : Il est rarissime, chez les chasseurs-cueilleurs, de transformer ainsi les têtes de ses parents. Dans 95 % des cas documentés du point de vue ethnohistorique, c'est un traitement réservé aux crânes d'ennemis. C'était le cas dans la région du Chaco, au sud de l'Amazonie, où vivaient essentiellement des chasseurs-cueilleurs. Les belligérants confectionnaient soit des crânes taillés, soit des scalps mais différents de ceux des Indiens d'Amérique du Nord. Une partie de la face était découpée jusqu'à la nuque, formant une espèce de bol. Cela a encore été observé au début du siècle dernier. Et quand les guerriers rentraient de leur raid, ces trophées servaient à boire un breuvage préparé par les femmes, accompagnant une cérémonie qui, au-delà de célébrer la victoire, avait pour but d'incorporer la force de l'ennemi. À la grotte du Placard, on a aussi des maxillaires taillés. Or l'archéologie mésoaméricaine a mis au jour des colliers datant du Ier millénaire de notre ère avec de tels ossements taillés issus d'individus sacrifiés, des ennemis venus d'ailleurs comme le montre l'étude de leurs isotopes.

Marylène Patou-Mathis, cette hypothèse d'un cannibalisme guerrier vous semble-t-elle solide ?
M. P-M : Pour moi, le côté guerrier n'est pas démontré. 200 ossements, pour la plupart fragmentaires, dans la grotte du Placard, c'est bien peu comparé à des sites tellement plus riches ! Ce n'est donc qu'une hypothèse. Peut-être avons-nous là un simple phénomène de convergence.

Il y a tellement d'autres possibilités. Pourquoi ne pas envisager des rites que nous ne pourrions pas concevoir parce que nous ne vivons pas le même rapport au monde que ces humains, n'avons pas la même cosmogonie, la même façon de percevoir les choses, les mêmes croyances ? On peut très bien envisager d'autres fonctions pour ces récipients ! Il faut réussir à trouver qui sont les mangeurs. Mais je suis optimiste. Qui aurait pensé il y a quelques décennies qu'on pourrait trouver de l'ADN ancien ? Peut-être développerons-nous des moyens techniques pour résoudre ce problème, peut-être d'ici à vingt ans.

À quoi pourraient avoir servi ces têtes coupées, alors ?
M. P-M : Ça peut être des restes d'ancêtres, conservés par respect. Dans certaines grottes, des crânes sont ornés de gravures à l'intérieur et à l'extérieur. Lorsqu'on trouve des têtes dissociées du corps, cela pourrait résulter d'une double inhumation. Peut-être pour d'autres motivations qui nous échappent. Cela me pose un problème de dire que ces calottes appartenaient forcément à un ennemi. On transpose ici une vision très moderne.

Pour tenter de comprendre ce que faisaient les peuples préhistoriques, on les compare avec

LE + NUMÉRIQUE
À voir : la version intégrale du débat en vidéo sur notre site **sciav.fr/dialogues**

NATURAL HISTORY MUSEUM, LONDON/SCIENCE PHOTO LIBRARY

Ce crâne découpé, mis au jour sur le site préhistorique de Gough (Royaume-Uni), daté de -14 700 ans, pourrait avoir servi de coupe à boire.

les populations actuelles vivant de manière traditionnelle. Est-ce pertinent ?

M. P-M : Je fais partie de ceux qui pensent que c'est une erreur. La plupart des études ethnographiques ont été faites avec un regard extérieur, un biais de perspective et, surtout, ces peuples ont évolué, eux aussi ont 10 000 ans d'histoire. Ce n'est pas parce que certains peuples ont tel ou tel comportement aujourd'hui que des humains préhistoriques les avaient.

B. B. : J'ai une autre vision. Comment essayer de comprendre le fonctionnement de ces sociétés qui n'ont pas laissé d'écrits, si on rejette l'ethnographie ? Il ne faut pas se leurrer, on ne saura jamais ce que pensaient les néandertaliens. Mais l'ethnohistoire donne un éventail des possibles. Quand cela n'a jamais été documenté, qu'il n'y a aucune trace, il est difficile de dire que ça a existé avant, au paléolithique. ■

« Cela me pose un problème de dire que ces calottes appartiennent forcément à un ennemi. On transpose ici une vision moderne » **Marylène Patou-Mathis**

BRUNO LÉVY

PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA *

Liberté académique en péril !

Des événements récents doivent nous alerter : la dénonciation publique de deux professeurs de Sciences Po Grenoble qualifiés de fascistes et d'islamophobes ; la publication d'une liste de 600 chercheurs suspectés de « complicité avec l'islam radical », parce qu'ils signèrent une pétition contre les propos de la ministre Frédérique Vidal, etc. Partout, des activistes venant de bords opposés livrent des universitaires à la vindicte publique en vue de les ostraciser. Le phénomène est assez grave pour mériter qu'on s'appesantisse dessus. Sans doute assiste-t-on déjà, depuis quelques années, à différentes formes de censure à l'encontre d'intellectuels empêchés de parler publiquement. Ainsi en alla-t-il lorsque la philosophe Sylviane Agacinski dut renoncer en 2019, sous la pression de militants LGBT partisans de la gestation pour autrui (GPA), à faire une conférence sur « l'être humain à l'époque de sa reproductibilité technique » à l'université de Bordeaux. Mais, aujourd'hui, on franchit un cap : de la censure on passe à la menace ! Jusqu'ici, on se contentait d'interdire de parole ; désormais, on cloue au pilori des penseurs déclarés non conformes à une doxa militante. Ce faisant, on importe dans la société et dans l'université française les pratiques nord-américaines de la *call-out culture* (culture de la dénonciation). Inscrite dans la Constitution, la liberté académique protège les universitaires ; elle leur donne le droit d'enseigner, de poursuivre des recherches et de participer à des controverses scientifiques en se soumettant à deux principes essentiels, la tolérance et l'objectivité. Toute condamnation d'idées ou *a fortiori* de personnes exerçant dans le giron de l'université, au nom de seuls motifs moraux ou politiques, et qui ne serait pas objective en ce qu'elle ne reposerait pas sur une réfutation étayée par une solide argumentation scientifique, doit donc être condamnée ! ■

> « Jusqu'ici on se contentait d'interdire la parole, désormais on cloue au pilori des penseurs déclarés non conformes à la doxa militante »

* Président du comité d'éthique du CNRS, professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS). Dernier ouvrage publié : *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

Logique de lettres

Plusieurs lettres sont rouges dans cette citation du mathématicien français Évariste Galois (1811-1832) selon une certaine logique. Quelle autre lettre devrait être rouge ?

Je rêve d'un jour où l'égoïsme ne régnera plus dans les sciences, où on s'associera pour étudier, au lieu d'envoyer aux académiciens des plis cachetés, on s'empressera de publier ses moindres observations.

Lyndon B. Johnson

Les récentes élections américaines nous remettent en mémoire Lyndon B. Johnson, ancien président des États-Unis (1963-1969) (*photo ci-dessous*), dont le nom et les prénoms ont une curieuse relation arithmétique. Chaque lettre représente un chiffre.

	L	Y	N	D	O	N
	_	_	_	_	_	_
x						B
						_
J	O	H	N	S	O	N
_	_	_	_	_	_	_

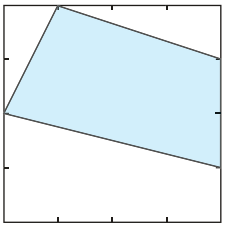
AP/SIPA

Le tableau inconnu

Quatre amis sortent d'une exposition de tableaux. On leur demande de décrire celui qui est le clou de l'exposition, bien en évidence au centre du hall.
• Alain y a vu une bicyclette marron, une jeune femme en robe sombre et une maison. Le tout encadré de bois.
• Benoît, lui, a vu encadré simplement, une bicyclette grise et une jeune femme en robe bleue devant une maison.
• Charles, de son côté, se souvient d'une bicyclette verte, d'une jeune femme de même couleur et d'un étang. Le tout dans un cadre quelconque.
• Enfin Denis revoit un vélo rouge, un chien, une femme en sombre mais ne se souvient pas s'il y a un cadre au tableau.
Si chacun d'eux a décrit un seul détail vrai et que chaque détail vrai n'a été décrit qu'une seule fois, que peut-on dire du tableau ?

Une aire et son carré

Cette figure est définie par des segments tracés à partir de points espacés régulièrement sur le pourtour d'un carré 4 x 4cm. Saurez-vous calculer son aire ?



L'héritage de Timothée

Timothée meurt, laissant un héritage de 84 000 euros. Son seul successeur est un frère habitant à l'autre bout du monde et dont il n'avait pas de nouvelles depuis longtemps. Timothée a décidé ceci : si mon frère a une fille, elle aura les 2/3 de mon héritage et son père 1/3. S'il a un fils, ce dernier n'aura que 1/3 et son père les 2/3 restant.
Il se trouve que le frère a un fils et une fille, comment doit-on faire le partage ?

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

Concepteur
et fabricant
FRANÇAIS

Douches Kinedo

présente

Kinemagic

Pour éviter les chutes dans la salle de bain,

remplacez votre baignoire par une douche luxueuse et sécurisée.

100% sécurisé

Pose en 48h sans gros travaux

Devis gratuit

VU À LA TV

A retrouver
actuellement sur vos écrans

Fabrication française

PLUS D'INFORMATIONS

par téléphone
0 800 05 06 07 Service & appel gratuits

par internet
www.kinemagic.fr

par courrier
en retournant la demande de devis personnalisé et gratuit
Coupon à envoyer à :
AQUAPRODUCTION
LIBRE RÉPONSE 51045
44680 SAINTE PAZANNE

❑ Oui, je souhaite en savoir plus sur la douche Kinemagic et bénéficier d'un **DEVIS GRATUIT** sans engagement de ma part.

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

CP : ..... Ville : .....

Téléphone : .....

Email : .....

N'affranchissez pas ce courrier, nous vous offrons les frais postaux.

Kinemagic - Paris Match

nouveau

DÉCOUVREZ **L'OR BIO**, UN PUR PLAISIR

L'OR SANS DOUTE LE MEILLEUR CAFÉ DU MONDE

JACOBS DOUWE EGBERTS FR SAS L 30 BIS, RUE DE PARADIS, 75010 PARIS, FRANCE L 810 029 413 RCS PARIS L SAS AU CAPITAL DE 16 594 157,70 EUROS.